

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

Konstrukční návrh nástavbového modulu servisního robotu pro  
manipulaci s retranslačními stanicemi

The Structural Design of Extension Module of Service Robot for  
Manipulation with Relay Stations

Student:

Martin Macháček

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Greguš

Ostrava 2011

## Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Macháček**

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní obor: 2301R013 Robotika

Téma: **Konstrukční návrh nástavbového modulu servisního robotu pro manipulaci s retranslačními stanicemi**  
**The Structural Design of Extension Module of Service Robot for Manipulation with Relay Stations**

### Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte možnosti manipulace s retranslačními stanicemi určenými pro udržení spojení se servisním robotem.
2. Navrhněte varianty řešení manipulačního modulu určeného pro pásový robot Ares.
3. Hodnotovou analýzou vyberte optimální variantu.
4. Konstrukční návrh vybrané varianty rozpracujte do úrovně sestavných výkresů s využitím CAD systému Pro/ENGINEER.
5. Vypracujte technickou zprávu s potřebnými výpočty a zhodnoťte dosažené výsledky.

Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MSWORD a konstrukční řešení v CAD systémech AutoCAD a Pro/ENGINEER.

### Seznam doporučené odborné literatury:

Bibliografické citace. [online] Dostupné z www:

<<http://citace.com/>>

ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

KÁRNÍK, Ladislav. *Servisní roboty*. VŠB-TU Ostrava, 2004. 144 s. ISBN 80-248-0626-6.

KONEČNÝ, Zdeněk. *Základy technické dokumentace*. [online] Dostupné z www:

<<http://robot.vsb.cz/podklady-pro-vyuku/>>

SKAŘUPA, Jiří. *Metodika konstruování v oboru*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 1993. 152 s. ISBN 80-7078-167-X.

SKAŘUPA, Jiří. *Metodika konstruování v oboru: konstrukční cvičení*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 1994. 122 s. ISBN 80-7078-233-1.

SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. [online] Dostupné z www:

<<http://robot.vsb.cz/podklady-pro-vyuku/>>

Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce. [online] Dostupné z www:

<<http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace/>>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Greguš**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



---

prof. Dr. Ing. Petr Novák  
vedoucí katedry



---

prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20.5.2011

.....

Martin Macháček

Prohlašuji, že

- jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20.5.2011

.....  
Martin Macháček

Jméno a příjmení autora práce:

Martin Macháček

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Vsetín  
Pod Žamboškou 1182  
Okr. Vsetín 755 01

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

MACHÁČEK, M. *Konstrukční návrh nástavbového modulu servisního robotu pro manipulaci s retranslačními stanicemi: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky, 2011, 52 s. Vedoucí práce: Ing. Petr Greguš

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem nástavbového modulu servisního robotu pro manipulaci s retranslačními stanicemi. V úvodu je popsán mobilní robot Ares, retranslační jednotka a používané mechanismy vhodné pro nakládání. V programu Pro/ENGINEER jsou vymodelovány tři varianty řešení nástavby. Za pomoci hodnotové analýzy je vybrána optimální varianta. Pro vybranou variantu je vytvořena technická zpráva s popisem nástavby, konstrukčními výpočty, pevnostní analýzou namáhaných součástí. Výkresová dokumentace bakalářské práce obsahuje sestavné výkresy manipulační nástavby.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

MACHÁČEK, M. *The Structural Design of Extension Module of Service Robot for Manipulation with Relay Stations: Bachelor Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2011, 52 s. Thesis head: Ing. Petr Greguš

This thesis deals with the structural design of extension module of service robot for manipulation with relay stations. The introduction describes mobile robot Ares, relay unit and appropriate mechanisms used for loading. In Pro / ENGINEER are modeled three options extensions solutions. Using value analysis is the best option selected. For the selected option is the creation of a technical report describing the superstructure, design calculations, stress analysis of loaded parts. Drawings thesis contains a plan of handling extension module.

## Obsah

Seznam použitých symbolů a značek.....	9
0 Úvod.....	10
1 Analýza .....	11
1.1 Analýza mobilního robota ARES .....	11
1.2 Analýza retranslační stanice.....	13
1.3 Analýza vhodných možností manipulace s retranslačními jednotkami .....	14
1.3.1 Angulární rameno se strukturou Rz, Rx, Rx .....	14
1.3.2 Hydraulická ruka (Angulární rameno Rz, Rx, Ty).....	15
1.3.3 Nástavba hákového nosiče kontejnerů .....	15
1.3.4 Nástavba řetězového nosiče kontejnerů .....	16
2 Požadavkový list .....	17
3 Návrh variant řešení manipulační nástavby .....	18
3.1 Varianta A .....	18
3.2 Varianta B .....	19
3.3 Varianta C .....	20
4 Výběr optimální varianty hodnotovou analýzou .....	22
4.1 Hodnoty kritérií .....	22
4.2 Významnost kritérií.....	22
4.3 Zvolení požadovaných kritérií a přiřazení důležitosti .....	22
4.5 Hodnocení jednotlivých kritérií .....	23
4.6 Výběr optimální varianty .....	24
4.7 Výsledek hodnotové analýzy .....	25
5 Optimální varianta nástavby. ....	25
5.1 Hlavní konstrukční části manipulační nástavby .....	26
5.2 Nosný rám nástavby.....	26
5.3 Upevňovací mechanismus.....	27
5.4 Modul řízení motorů .....	28
5.5 Sestava pohonu otáčení ramene .....	29
5.6 Manipulační rameno.....	30
6 Ukázka nakládání jednotky a dosah nástavby .....	34
7 Analýza potřebných momentů .....	35
7.1 Určení maximálního momentu pro otáčení ramene .....	35
7.2 Určení maximálního momentu pro brzdění .....	36
7.3 Určení momentů pro zvedání ramene .....	37
7.4 Určení momentů pro otáčení stanice na konci ramene.....	38

8	Volba motoru .....	39
8.1	Motor pro otáčení ramene .....	39
8.2	Motor pro zvedání prvního ramene .....	39
8.3	Motor pro zvedání koncového ramene .....	40
8.4	Motor pro otáčení jednotky na konci ramene .....	40
8.5	Motor pro otevírání zajištění stanic .....	41
9	Pevnostní kontrola hlavních namáhaných dílů .....	42
9.1	První stupeň ramene .....	42
9.2	Druhý stupeň ramene .....	43
9.3	Záchytový element uchopovacího mechanismu .....	44
11	Ekonomické zhodnocení .....	46
12	Závěr .....	47
13	Použitá literatura .....	48
14	Seznam příloh .....	49
15	Kompletní 3D model .....	50



## Seznam použitých symbolů a značek

Označení	Význam označení	Jednotka
$\eta_{OPř}$	účinnost převodu ozubeného řemene	[ % ]
$\eta_{PPř}$	účinnost planetové převodovky	[ % ]
$\eta_{HPř}$	účinnost harmonické převodovky	[ % ]
$\eta_L$	účinnost ložisek	[ % ]
$i_{OPř1}$	převodový poměr převodu ozubeného řemene pro otoč	[ - ]
$i_{OPř2}$	převodový poměr převodu ozubeným řemenem pro zvedání prvního ramene	[ - ]
$i_{OPř3}$	převodový poměr převodu ozubeným řemenem pro zvedání koncového ramene	[ - ]
$i_{OPř4}$	převodový poměr převodu ozubeným řemenem pro otevírání zajištění	[ - ]
$i_{PPř}$	převodový poměr planetové převodovky	[ % ]
$\eta_{HPř}$	převodový poměr harmonické převodovky	[ % ]
$M_{PO}$	krouticí moment požadovaný otáčení manipulačního ramene	[ Nm ]
$M_{ZPR1}$	krouticí moment zvedání prvního ramene	[ Nm ]
$M_{ZPR2}$	krouticí moment zvedání koncového ramene	[ Nm ]
$M_{OJ}$	krouticí moment otáčení jednotek	[ Nm ]
$M_{OZ}$	krouticí moment pro otevření zajištění jednotek	[ Nm ]
$M_{VPO}$	vypočtený krouticí moment požadovaný otáčení manipulačního ramene	[ Nm ]
$M_{VZPR1}$	vypočtený krouticí moment zvedání prvního ramene	[ Nm ]
$M_{VZPR2}$	vypočtený krouticí moment zvedání koncového ramene	[ Nm ]
$M_{VOJ}$	vypočtený krouticí moment otáčení jednotek	[ Nm ]
$M_{VOZ}$	vypočtený krouticí moment pro otevření zajištění jednotek	[ Nm ]
$M_m$	krouticí moment motoru	[ Nm ]

## 0 Úvod

Se stále častějším nasazováním mobilních robotů pro průzkum a vykonávání různorodých úkolů v nebezpečných zónách přichází požadavek na zvětšení operativního prostoru robotu. Jedním z důvodů je zabezpečení obsluhy robotu, která tím pádem nemusí být přítomna v jeho nejbližším okolí. Jednou z možností jak zvětšit pracovní prostor je použití retranslačních stanic, které přeposílají datovou komunikaci od operátora k robotu. Mobilní robot si v takovém případě musí tyto stanice vézt sebou do akce a při zaregistrování poklesu signálu komunikace je vyloží na vhodném místě. Tímto počínáním si robot zajistí rozšíření pracovního prostoru. Omezení pracovního prostoru je tak určeno pouze počtem stanic, které je schopen uvést, dosahem těchto stanic a dobou provozu robotu.

Z pohledu všestranného použití mobilních robotů je výhodnější nezabudovávat prostor pro manipulaci s retranslačními stanicemi a jejich uložení přímo do kostry robotu, ale navrhnout modulární nástavby, které se v případě potřeby dají rychle a snadno nainstalovat na robot nebo demontovat a použít jinou účelovou nástavbu.

Konstrukci nástavby pro manipulaci s retranslačními jednotkami ovlivňuje mobilní robot, na který je tato nástavba určena a konstrukce uvažované retranslační jednotky.

Cílem mé bakalářské práce je navrhnout nástavbu pro mobilní robot ARES pro manipulaci s retranslační stanicí navrženou Martinem Soukupem v jeho bakalářské práci. Manipulační nástavba musí být schopna vyložit a naložit jednotku v různě členitém terénu, ve kterém se může ARES pohybovat. Při převozu musí být nástavba navržena tak, aby zabezpečila její bezpečné uchycení.

První část práce je zaměřena na představení mobilního robotu ARES, retranslační jednotky a analýzu možností manipulace s jednotkou. Druhá část práce je zaměřena na návrh vhodných variant řešení nástavby a na výběr vhodné varianty pomocí hodnotové analýzy. Třetí část práce je zaměřena na konstrukční řešení optimální varianty nástavby a na její propočty.

# 1 Analýza

## 1.1 Analýza mobilního robotu ARES



Obr. 1.1.1 – Mobilní robot ARES

Technické parametry ARESU	
Podvozek:	pásový (12 neodpružených vodících kol)
Řízení:	diferenční řízení (smykem)
Pohon:	každý pás hnaný prostřednictvím jednoho kola
Motory:	2 DC motory (600 W, 24 V)
Senzory:	kamera vpředu
Řídicí systém:	dálkové ovládání pomocí PC
Rozměry:	1253 x 731 x 530 mm
Hmotnost podvozku	128 kg
Nosnost robotu	150 kg
Rychlost robotu	8 km/h
Výška překonatelné překážky	220 mm
Energie	Stejnoseměrných 24 V

Tab. 1.1.1

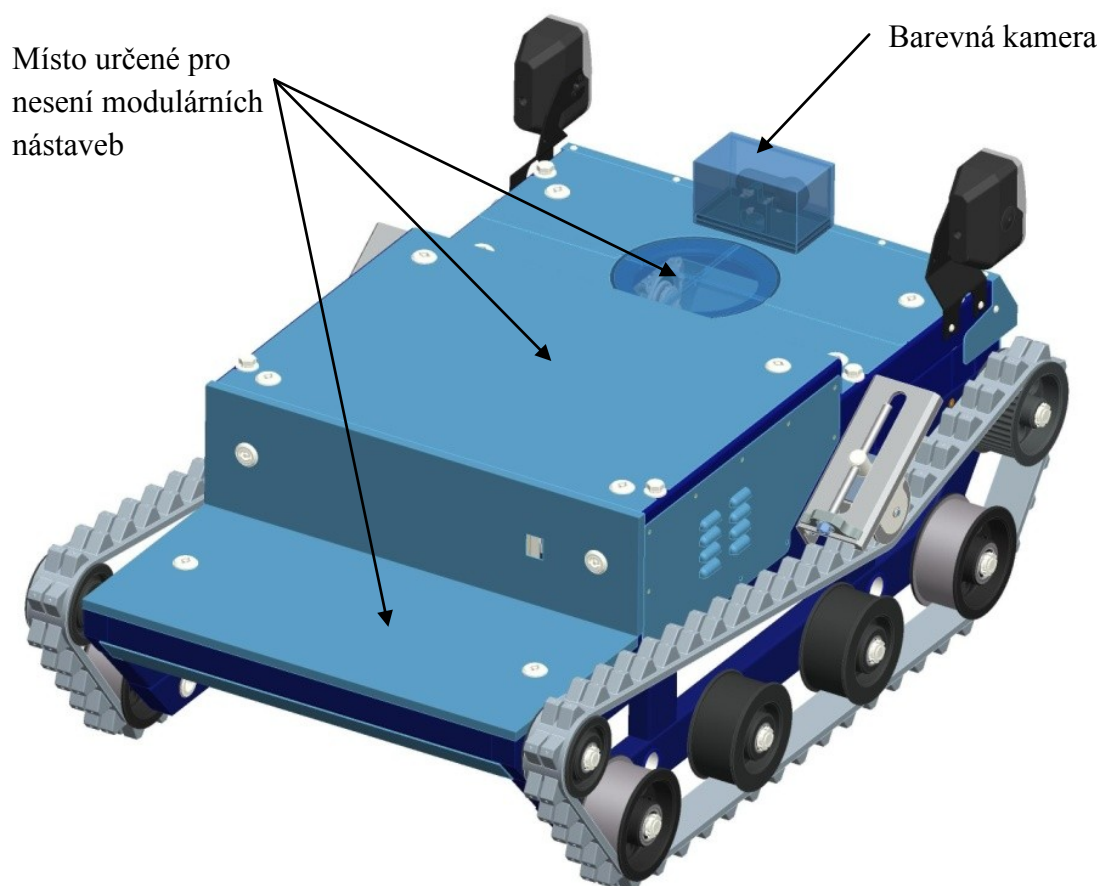
Robot ARES je mobilní robot na pásovém podvozku se dvěma hlavními pásy diferenčně řízenými. Robot je navržen zdolávat normalizované schody o výšce 170 mm a délce 290 mm. Je navržen tak, že může projíždět dveřmi o šířce 800 mm. Robot je neodpružen. Malé odpružení a tlumení rázů se odehrává v rámci pružnosti pásu. Hnací kolo hlavního pásu představuje odlehčená ozubená ocelová řemenice. Osa hnacího kola je 221 mm nad terénem. Robot je vybaven jednou barevnou kamerou v přední části, která je

určena pro ovládání pohybu robotu v terénu nebo ve vnitřních prostorech. Jediný zdroj energie, který má ARES k dispozici, je z baterie 24 V.

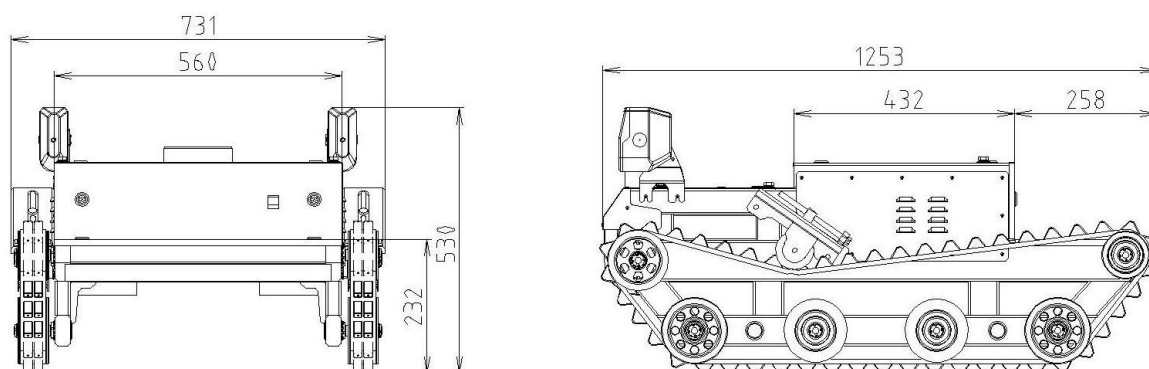
ARES je navržen jako univerzální nosič různých modulárních nástaveb, pro které jsou tři možné umístění ( obr.1.1.2 ) v horní části robotu. Jednotlivé plochy pro nástavby mají jiné rozměry a jsou vhodné pro jiné nastavbové moduly, protože jsou v různých výškách nad zemí.

#### **Příklady nastavbových modulů:**

- Manipulační nástavby
- Zásobníky na odebrání vzorku
- Efektory pro odběr vzorků různého skupenství
- Kamerové subsystemy pro monitorování a průzkum
- Modul pro pořizování 3D metrických dat
- Modulem pro detekci nebezpečných látek
- Modul vodního rozstřelovače NVS
- Různorodé moduly pro servisní úlohy v požadovaném prostředí

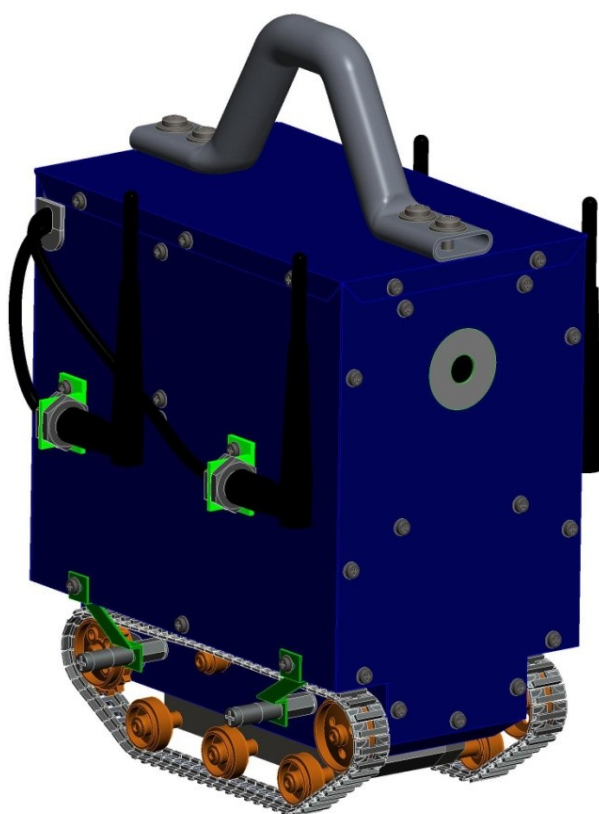


*Obr. 1.1.2 – Umístění místa pro nástavby*



Obr. 1.1.3 – Rozměry ARESU

## 1.2 Analýza retranslační stanice

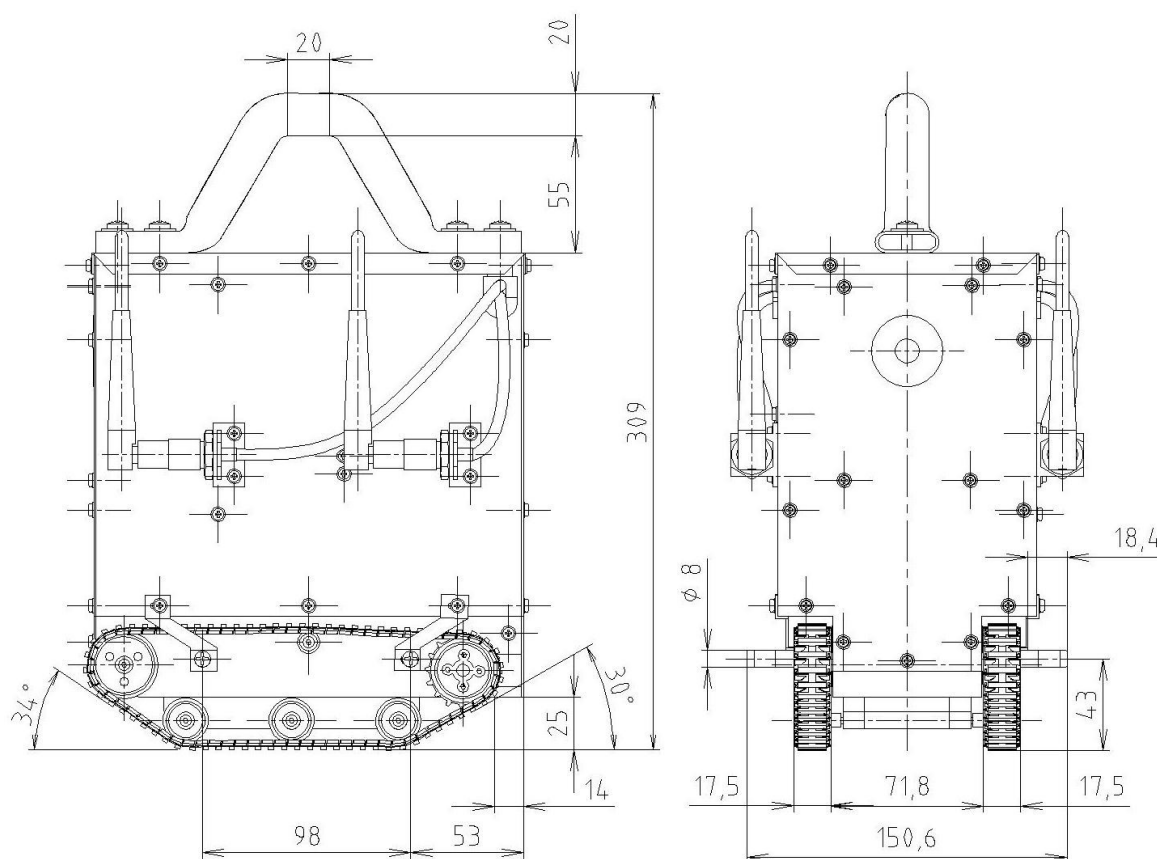


Obr. 1.2.1 – Retranslační stanice

Retranslační stanice je určena k rozšíření signálu datové komunikace mezi mobilním robotem a ovládací stanicí operátora robotu. Analyzovaná retranslační stanice je navržena v rámci bakalářské práce Martina Soukupa. Retranslační stanice je koncipována jako samohybná. Je tak řešena kvůli možnosti zlepšit pokrytí signálem prostor, ve kterém zasahuje mobilní robot. Pohyb je řešen pomocí diferenčního řízení pásů. Tato stanice obsahuje dva wifi routry pro zajištění vyšší datové propustnosti. Ovládání probíhá přes router, na který je připojena řídicí karta pohonů pojezdu.

Stanice má v sobě zabudovanou IP

kameru, která je také připojena na router. Tato kamera se zapíná na dálku v případě potřeby změny polohy jednotky. Do stanice je zabudovaná baterie, která zabezpečuje provoz jednotky.



Obr. 1.2.2 – Rozměry retranslační stanice

### 1.3 Analýza vhodných možností manipulace s retranslačními jednotkami

V této části jsem hledal vhodné kinematické struktury mechanismu, které se používají pro časté nakládání a vykládání předmětů. Při hledání jsem se zaměřil na mechanismy, u kterých se dají jednoduše zautomatizovat jejich pohyby.

#### 1.3.1 Angulární rameno se strukturou Rz, Rx, Rx



Obr. 1.3.1.1 – Ukázka angulárního ramena Rz, Rx, Rx



Tato kinematická struktura se používá u průmyslových robotů s velkou oblibou. Pracovní prostor tohoto kinematického schématu je sférický prostor. U tohoto mechanismu se používají většinou rotační motory. U těchto ramen existují dva možné způsoby, kde se umísťují motory. Jeden způsob je umístění motoru přímo do kloubu ramene druhý způsob je umístění motoru do základu ramene. V tomto případě musíme řešit souběžné řízení motorů. To proto, aby se koncový bod ramene pohyboval po žádané trajektorii.

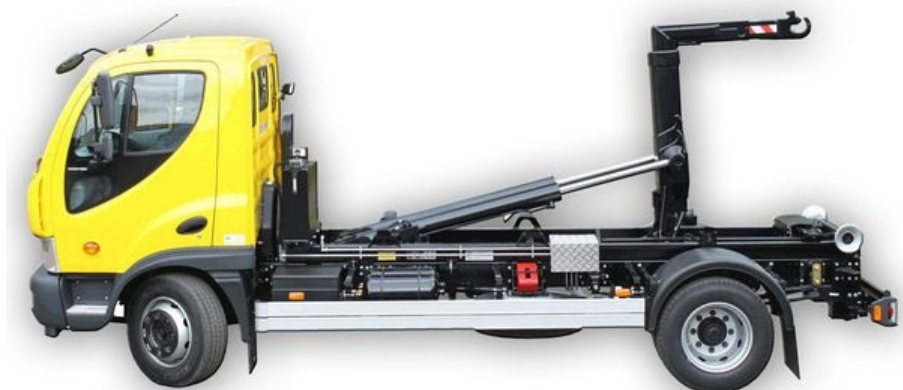
### 1.3.2 Hydraulická ruka (Angulární rameno $R_z$ , $R_x$ , $T_y$ )



*Obr. 1.3.2.1 – Ukázka hydraulického ramene*

Tato kinematická struktura se používá nejčastěji u dílenských jeřábů a u hydraulických ruk na nákladních automobilech. Pracovní prostor této kinematické struktury je sférický prostor. Nejčastější používané pohony jsou hydraulické válce, které mají velkou sílu, tím můžeme počítat s vyšší nosností ramene. Díky použití hydraulických válců odpadají problémy s řešením převodů nebo přemísťováním točivého momentu. Potřebujeme pouze hydraulický generátor, který vyvine dostatečný tlak a průtok hydraulické kapaliny.

### 1.3.3 Nástavba hákového nosiče kontejnerů



*Obr. 1.3.3.1 – Ukázka hákového nosiče kontejnerů*

Hákové nosiče kontejnerů se využívají pro časté nakládání a skládání kontejnerových platforem. Kontejnerová platforma může být upravena na přepravu sypkých hmot nebo také jako mobilní buňky a mobilní stroje. Tento nakládací mechanismus plní také funkci upevňovací. Drží kontejner po dobu přepravy na místě. Používá se výhradně hydraulických válců. Rameno koná kyvný pohyb. Aby se uchytíl kontejner musí řidič nacouvat koncovým hákem do oka kontejnerové platformy. Následně platformu natáhne na rám automobilu.

#### 1.3.4 Nástavba řetězového nosiče kontejnerů

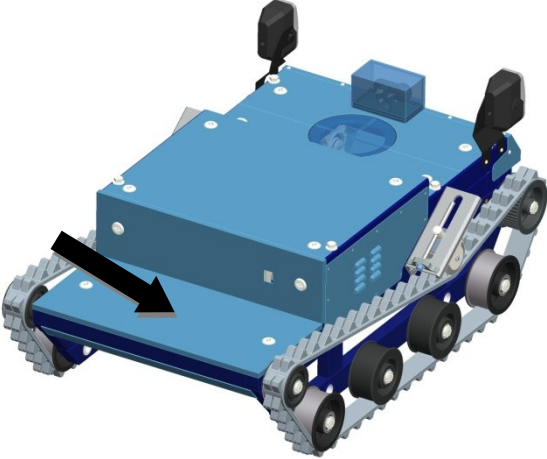


*Obr. 1.3.4.1 – Ukázka řetězového nosiče kontejnerů*

Řetězový nosič kontejnerů plní stejné manipulační funkce jako hákový nosič kontejnerů. Rozdíl je ve zpracování konstrukce nástavby. U této nástavby se pohybují dvě ramena souběžně, po každé straně jedno. Tyto ramena konají kyvný pohyb s pomocí hydraulických válců. Kontejner je uchycen na obou bocích za dva čepy, na které se navlékne koncové oko řetězu. Konstrukce je vybavena patkami, které zabraňují zvedání přední části nákladního automobilu. Uchycení kontejnerů zabezpečují kyvné zámky v přední a zadní části nástavby.



## 2 Požadavkový list

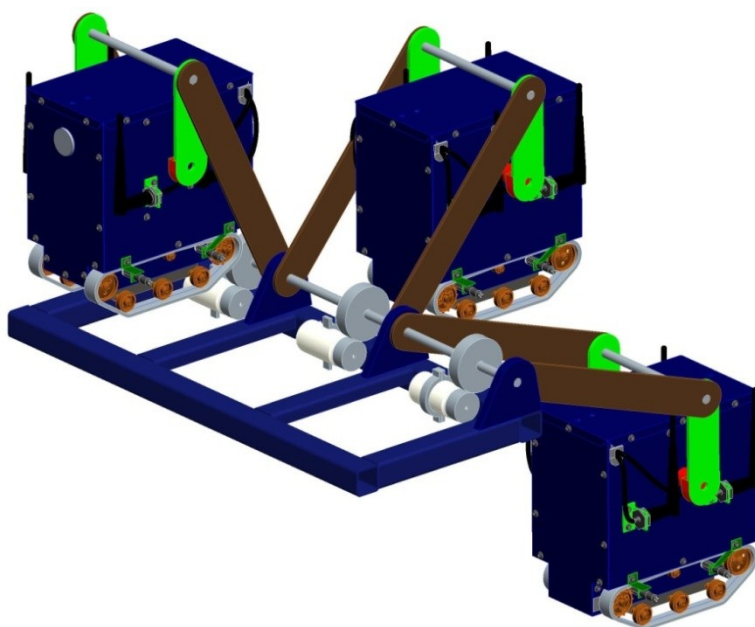
Požadavkový list	
Obecné požadavky	
Druh činnosti	Manipulace, uchycení
Pracovní prostředí	Vnitřní, vnější s možností deště, teploty 0 až 50 C°
Parametry mobilního robotu ARES	
Druh pohonu ARESU	Elektromotory
Napájecí napětí	Stejnoseměrné 24 V
Umístění nástavby pro manipulaci s retranslačními jednotkami	
Rozměry místa pro nástavbu	255 x 560 mm
Výška od země k základně nástavby	235 mm
Parametry retranslační jednotky	
Rozměry (délka x šířka x výška)	209 x 166 x 309 mm
Váha	2,5 kg
Požadavky na nástavbu pro manipulaci s retranslačními stanicemi	
Počet nesených stanic	2 – 3 ks
Pohony	Elektrický stejnosměrný, 24 V
Hmotnost	Minimalizace hmotnosti
Nosnost	3,5 kg
Konstrukce nástavby	Jednoduchá a rychlá montáž – samonosný rám
Funkce jednotky	Manipulace a bezpečné uchycení jednotek během přepravy v terénu

Tab. 2.1

### 3 Návrh variant řešení manipulační nástavby

Varianty řešení jsou odvozeny od nalezených vhodných manipulačních mechanismů. Základem všech variant je nosný rám, který odpovídá rozměrům místa určeného pro přídatnou nástavbu na mobilním robotu ARES. Následující navržené varianty jsou řešeny koncepčním schématem pro posouzení jednotlivých vlastností variant a následný výběr nejvhodnějšího řešení manipulace. S ohledem na schematické znázornění jsou jednotlivé konstrukční prvky zjednodušeny na jednoduché prvky. Hmotnost nástavby je odhadovaná dle navrženého schématu. Při dalším řešení konstrukce se předpokládá její navýšení.

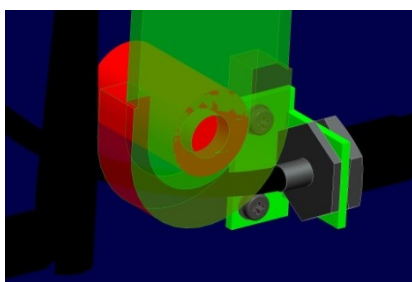
#### 3.1 Varianta A



Obr. 3.1.1 – Varianta A

Varianta A je určena pro manipulaci se třemi retranslačními jednotkami, které jsou vyspecifikovány v předešlé kapitole. Každá jednotka má svůj manipulační mechanismus. Mechanismus se skládá ze dvou ramen, které mají dva stupně volnosti. Jeden stupeň je ovládán pohonem, druhý stupeň ramene koná samostatný pohyb vertikální v

důsledku gravitace. Uchopení jednotek je v tomto případě řešen pomocí kolébky (obr. 3.1.2), do které zapadají čepy na stěnách jednotky. Pro tento mechanismus je nevhodný rychlý pohyb pohaněných ramen, protože se může jednotka na koncovém rameni rozkývat. Dále se u této varianty musí řešit uchycení jednotek, jelikož jednotlivé nakládací mechanismy nejsou zabezpečeny vhodným držením. Prostor, ze kterého je nástavba



Obr. 3.1.2 – Detail uchopení

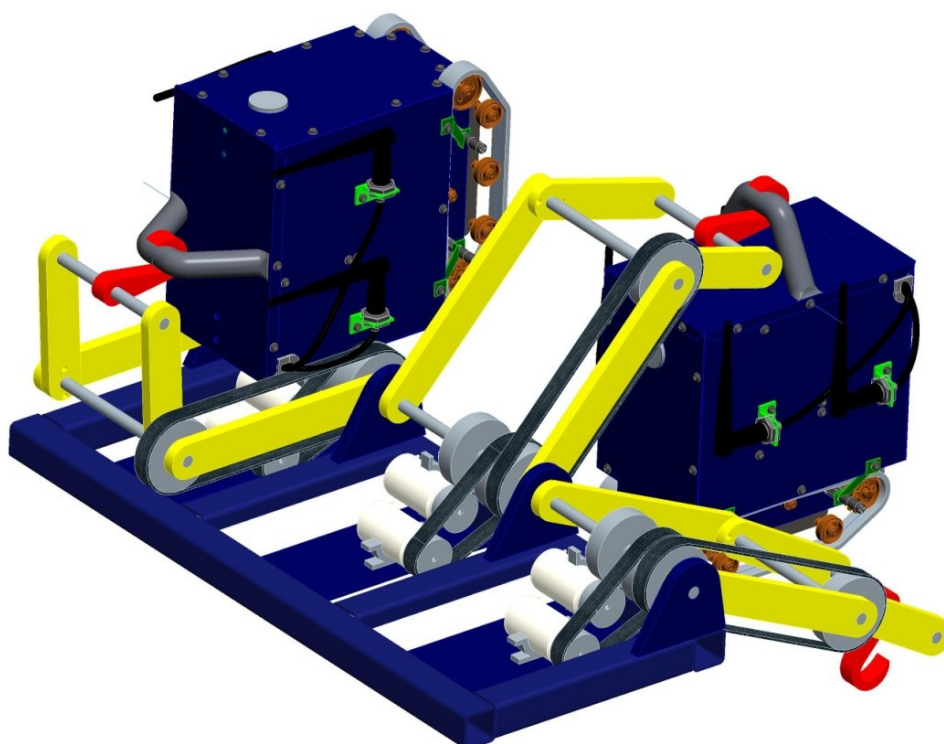
schopna nakládat jednotky, je omezen dosahem, který vzniká kyvným pohybem ramen. Z tohoto důvodu se musí k položené jednotce vhodně nacouvat, uchytit ji a zvednout. K dosažení úspěšného nakládání se musí koordinovat pohyb mobilního robotu ARES a nakládacího subsystému.

**Parametry varianty A**

Technická data	
Počet nesených jednotek	3 ks
Počet motorů	4 ks
Objem prostoru, ze kterého je nástavba schopna manipulovat s jednotkami	300 cm <sup>3</sup>
Odhadovaná hmotnost nástavby	10,93 kg

*Tab. 3.1.1***Zhodnocení varianty A**

Varianta A je jednoduchá na konstrukci a výrobu. Jsou potřebné čtyři motory. Konstrukční prvky se opakují třikrát. Horší je to s přesností manipulace díky jednomu neovládanému ramenu. Stanice může být při nakládání nestabilní. Doba nakládání je závislá na přesnosti příjezdu k jednotce. Konstrukce není příliš vhodná pro následnou automatizaci.

**3.2 Varianta B***Obr. 3.2.1 – Varianta B*

Varianta B je určena pro tři retranslační jednotky. Každá má vlastní vykládací mechanismus. Mechanismus má dva stupně volnosti, které mají každý svůj motor. Přenos z motoru na první stupeň je zajištěn ozubenými koly a ozubeným řemenem. Přenos pohybu

na druhý stupeň je zajištěn převodním kolem, ozubenými řemenicemi a ozubenými řemeny. Jako úchyt je zvolen hák, který slouží k zachycení jednotky při nakládání a také k jejímu držení při přepravě. Způsob umístění jednotky je takový, že se jednotka při nakládání sklopí na bok přes hranu nástavby. U této varianty nemusíme řešit dodatečný uchopovací mechanismus. Musíme vhodně navrhnout uchopovací hák, aby udržel jednotku při pohybu v terénu a musíme použít vhodný motor s brzdou. Při pohybu motoru prvního ramene dochází k malému otáčení druhého ramene. Tento nedostatek je řešen současným řízením obou motorů zároveň. Pracovní prostor, ze kterého je nástavba schopna nakládat jednotky, je omezen na cylindrický výřez vzniklý pohybem ramen.

### Parametry varianty B

Technická data	
Počet nesených jednotek	3 ks
Počet motorů	6 ks
Objem prostoru, ze kterého je nástavba schopna manipulovat s jednotkami	2 300 cm <sup>3</sup>
Odhadovaná hmotnost nástavby	19,51 kg

Tab. 3.2.1

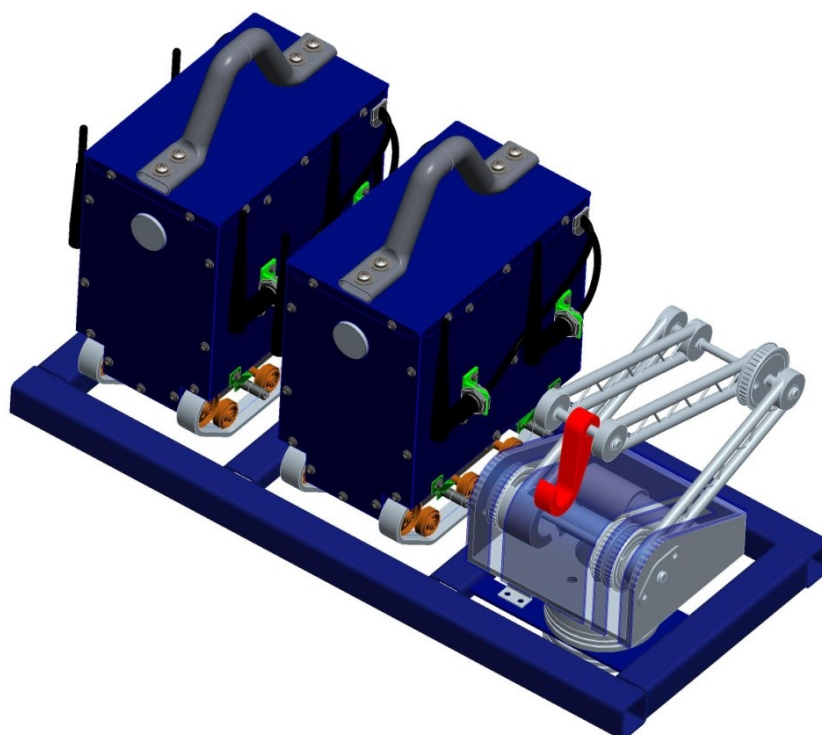
### Zhodnocení varianty B

Varianta B je složitější na konstrukci než varianta A. Všechny konstrukční prvky se opakují třikrát. Je potřeba šesti rotačních motorů. Odhadovaná váha konstrukce je ve srovnání s ostatními skoro dvojnásobná. Ramena jsou schopna uchopit jednotku z většího prostoru než u varianty A. Nevýhodou varianty B je nutnost použití řízení synchronního řízení motorů kvůli použitému převodu ze základu nástavby pomocí ozubených řemenů.

## 3.3 Varianta C

Varianta C je určena pro dvě jednotky, se kterými manipuluje agulární manipulátor se třemi stupni volnosti. Ramena se skládají ze dvou vzpěr. Každý stupeň volnosti ovládá jeden motor přes převod. Převod na první stupeň je pomocí krátkého ozubeného řemene. Převod na druhý stupeň je pomocí převodního kola, ozubených řemenic a dvou ozubených řemenů. Pohyb otočení zajišťuje motor přes ozubený řemen. V rámci varianty C se musí řešit napnutí řemenů při montáži. Uchycení jednotek je v této variantě řešeno uchopovacím subsystémem, který je umístěn na rámu nástavby. Uchopovací mechanismus ovládá jeden rotační motor pro obě jednotky. Se změnou rozměrů jednotek lze upravit pouze

uchopovací mechanismus a není nutno předělávat rozměry dílu nakládacího subsystému jako u předchozích variant.



*Obr. 3.3.1 – Varianta C*

### Parametry varianty C

Technická data	
Počet nesených jednotek	2 ks
Počet motorů	4 ks
Objem prostoru, ze kterého je nástavba schopna manipulovat s jednotkami	35 700 cm <sup>3</sup>
Odhadovaná hmotnost nástavby	11,21 kg

*Tab. 3.3.1*

### Zhodnocení varianty C

Varianta C používá podobnou konstrukci ramene jako předchozí varianta B, která používá převod přes ozubené řemenice a řemeny. Navíc je doplněna o možnost rotovat kolem svislé osy. Tímto doplňkem se nám zvětší manipulační možnosti ramene a pracovní prostor. V této variantě se musí řešit uložení a uchycení jednotek při přepravě.

## 4 Výběr optimální varianty hodnotovou analýzou

Pomocí hodnotové analýzy vybereme z navržených variant tu nejvhodnější pro další konstrukční rozpracovávání. Hodnotovou analýzou srovnáme zvolené kritéria u navržených variant.

### 4.1 Hodnoty kritérií

Úroveň	Hodnota
Vysoká	6
Dobrá	5
Průměrná	4
Nízká	3
Nevyhovující	2
Nepříznivý stav	1

Tab. 4.1.1

### 4.2 Významnost kritérií

Významnost	Hodnota
Nejvyšší	2
Nejnižší	1

Tab. 4.2.1

### 4.3 Zvolení požadovaných kritérií a přiřazení důležitosti

Kritéria byly voleny na základě požadavku na jednoduchou konstrukci, využitelnost a cenu výroby nástavby.

Označení kritéria	Kritérium	Charakteristika kritéria
K1	Pohony	Počet pohonu pro požadovanou funkci
K2	Hmotnost	Hmotnost manipulační nástavby
K3	Konstrukce	Složitost konstrukce, výrobní náročnost
K4	Počet nesených jednotek	Množství jednotek
K5	Velikost manipulačního prostoru	Objem prostoru, ve kterém je možné naložit jednotku

Tab. 4.3.1

### 4.4 Určení významnosti kritérií

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb (v)	Pořadí	Váha významnosti (q)
K1	K1	K1	K1	3	1	1,71
K2	K3	K4	K5			
	K2	K2	K2	0,5	3-4	1
	K3	K4	K5			
		K3	K3	0,5	3-4	1
		K4	K5			
			K4	2		1,43
			K5	4		2

Tab. 4.4.1

## 4.5 Hodnocení jednotlivých kriterií

<b>K1 - Pohony</b>		
Varianta	Počet použitých motorů	Počet bodu
A	4	5
B	6	2
C	4	5

Tab. 4.5.1

<b>K2 – Hmotnost</b>		
Varianta	Hmotnost rámu a mechanismu nakládání	Počet bodu
A	10,96 kg	6
B	19,51 kg	3
C	11,21 kg	5

Tab. 4.5.2

<b>K3- Konstrukce</b>		
Varianta	Složitost konstrukce	Počet bodu
A	Jednodušší	5
B	Složitější	3
C	Průměrná	4

Tab. 4.5.3

<b>K4 – Počet nesených jednotek</b>		
Varianta	Počet jednotek, které na nástavbu uložíme	Počet bodu
A	3	5
B	3	5
C	2	4

Tab. 4.5.4

<b>K5 – Velikost manipulačního prostoru</b>		
Varianta	Objem prostoru, ve kterém je možné naložit jednotku	Počet bodu
A	300 cm <sup>3</sup>	1
B	2 300 cm <sup>3</sup>	3
C	35 700 cm <sup>3</sup>	6

Tab. 4.5.5

#### 4.6 Výběr optimální varianty

Varianta A			
Kritérium	Počet bodů	Váha významnosti kritéria (q)	Vážený index kritéria
K1	5	1,71	8,55
K2	6	1	6
K3	5	1	5
K4	5	1,43	7,15
K5	1	2	2
Celkový součet vážených indexů varianty A:			30,41

Tab. 4.5.1

Varianta B			
Kritérium	Počet bodů	Váha významnosti kritéria (q)	Vážený index kritéria
K1	2	1,71	3,42
K2	3	1	3
K3	3	1	3
K4	5	1,43	7,15
K5	3	2	6
Celkový součet vážených indexů varianty B:			22,57

Tab. 4.5.1

Varianta C			
Kritérium	Počet bodů	Váha významnosti kritéria (q)	Vážený index kritéria
K1	5	1,71	8,55
K2	5	1	5
K3	4	1	4
K4	2	1,43	2,86
K5	6	2	12
Celkový součet vážených indexů varianty C:			33,41

Tab. 4.5.1



#### 4.7 Výsledek hodnotové analýzy

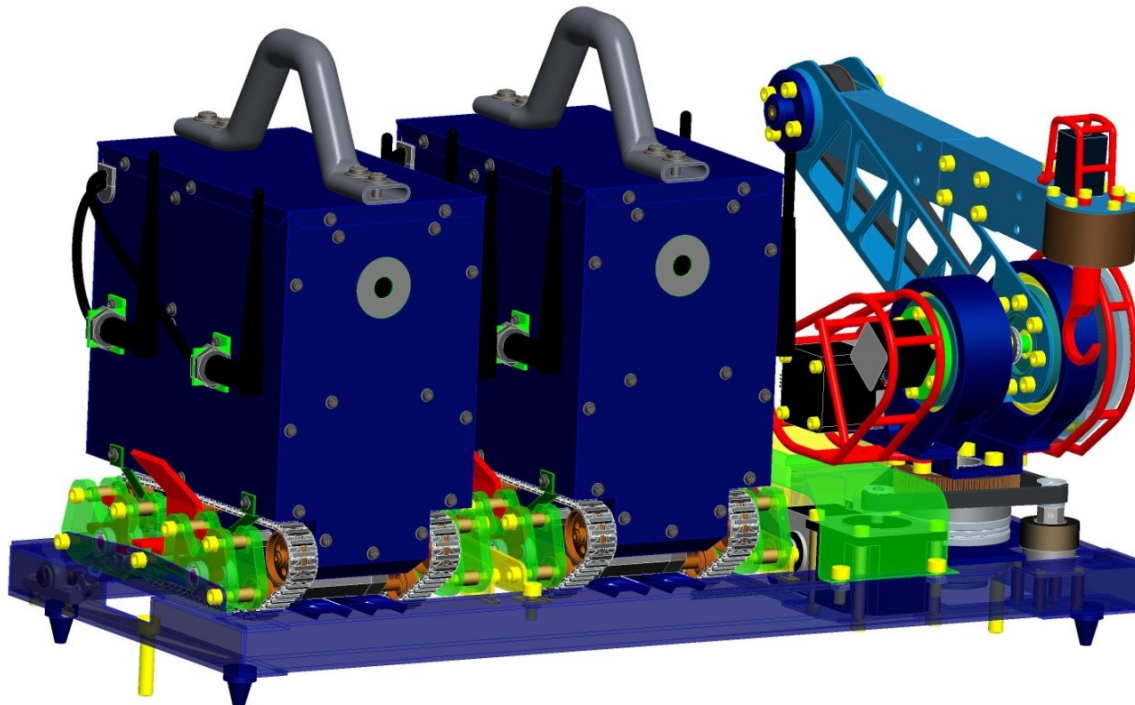
Varianta	Celkový součet vážených indexů	Pořadí
A	30,41	2.
B	22,57	3.
C	33,41	1.

Tab. 4.5.1

Z hodnotové analýzy vzešla jako nejvhodnější varianta C řešení nástavby pro manipulaci s retranslačními stanicemi. Nejvýznamnější parametry, které ovlivnily výběr, je prostor, ze kterého je nástavba schopna naložit jednotku a počet motorů, které jsou pro konstrukci potřebné.

### 5 Optimální varianta nástavby.

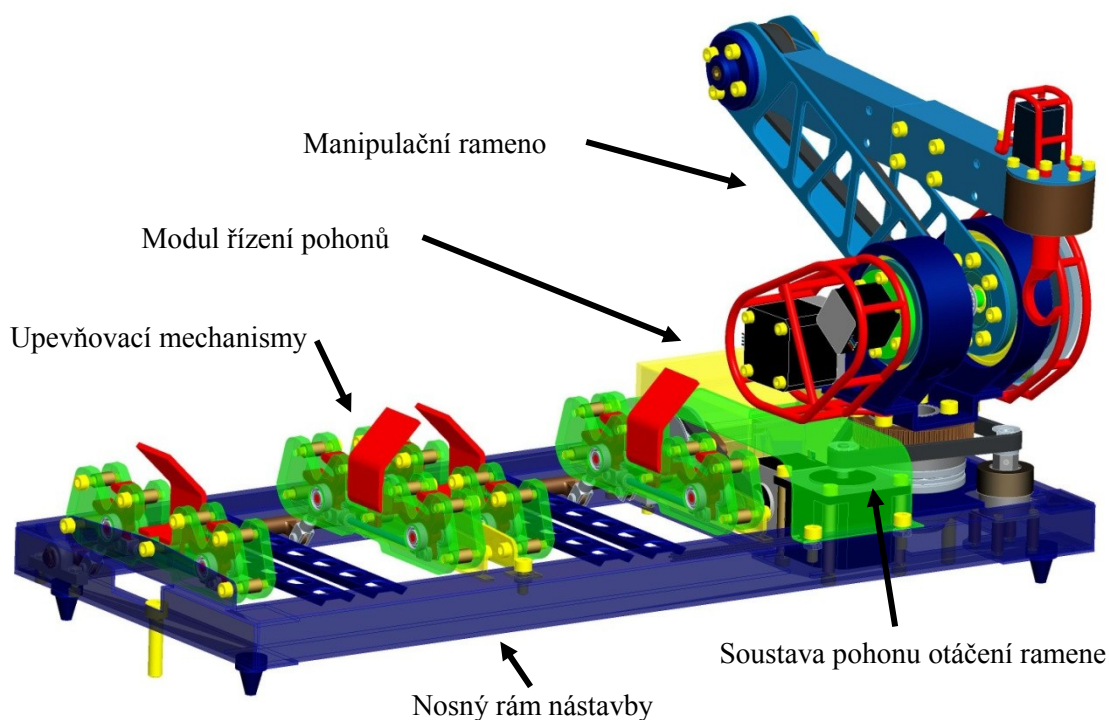
Při konstruování optimální varianty jsem navrhnul další možnou konstrukci, která vychází z varianty C. Tato nová varianta odstraňuje některé nevýhodné vlastnosti konstrukce původní, jako je krytí ozubeného řemenu převodu pohonu na druhé rameno a umožňuje odstranit převod, který vznikl umístěním motorů v základním rámu.



Obr. 5.1 – Změněná varianta C

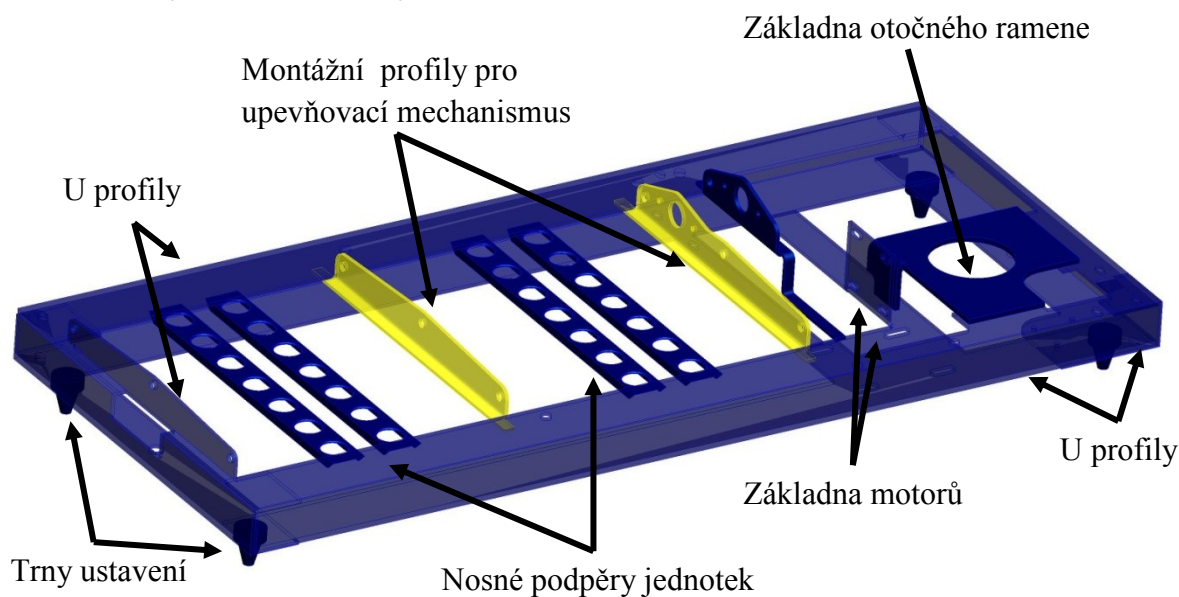
## 5.1 Hlavní konstrukční části manipulační nástavby

Nástavba pro manipulaci s retranslačními stanicemi se skládá z pěti modulů. Z nichž každý plní jiný účel. Základem je nosný rám, na kterém jsou upevňovací mechanismy pro držení jednotek. Dalšími prvky je manipulační rameno, soustava pohonů pro otáčení manipulačního ramene a modul řízení pohonů.



Obr. 5.1.1 – Rozmístění hlavních částí nástavby

## 5.2 Nosný rám nástavby

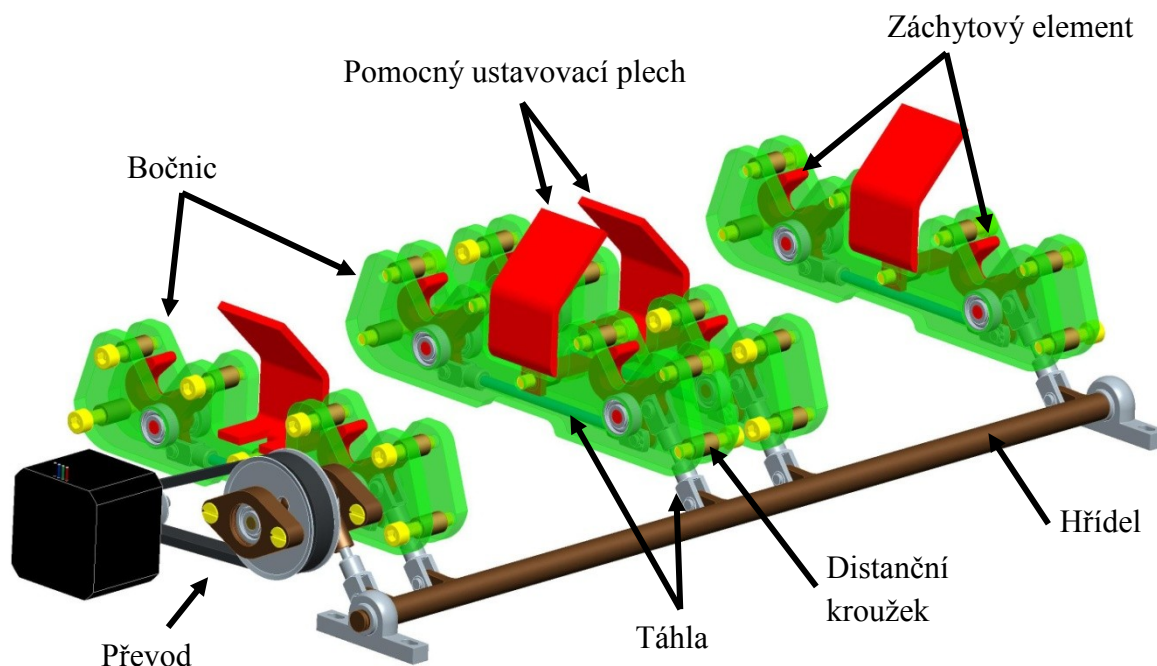


Obr. 5.1.1 – Detail rámu nástavby

Rám slouží jako základ nástavby pro jednodušší instalaci a demontáž z ARESU. Základem nosného rámu jsou U profily, které jsou upraveny a bodově svařeny. Dalšími prvky rámu jsou nosné podpěry jednotek (obr. 5.1.1), základny pro upevnění motoru, brzdy, mechanismu otáčení a motoru pro uchopování retranslačních jednotek. Na rám jsou přivařeny trny, které slouží pro ustavení na ARESU a otvory pro upevňovací šrouby nástavby.

Nosné podpěry jednotek slouží jako hlavní nosná část pro retranslační jednotky. Jednotky na tyto podpěry dosedají základem svého podvozku. Podpěry jsou umístěny tak, aby nevadily gumovým pásům retranslačních jednotek. Dalším prvkem rámu jsou ohnuté upravené plechy, které slouží pro montážní profily upevňovacího mechanismu. Tyto plechy svým umístěním zvyšují tuhost rámu. Základny motorů jsou navrženy tak, aby bylo možno s motorem hýbat a provést tak napnutí ozubeného řemenu při montáži. Základna pro otočné rameno je bodově svařena s bočními profily a vzpěrrou.

### 5.3 Upevňovací mechanismus



Obr. 5.3.1 – Detail upevňovacího mechanismu

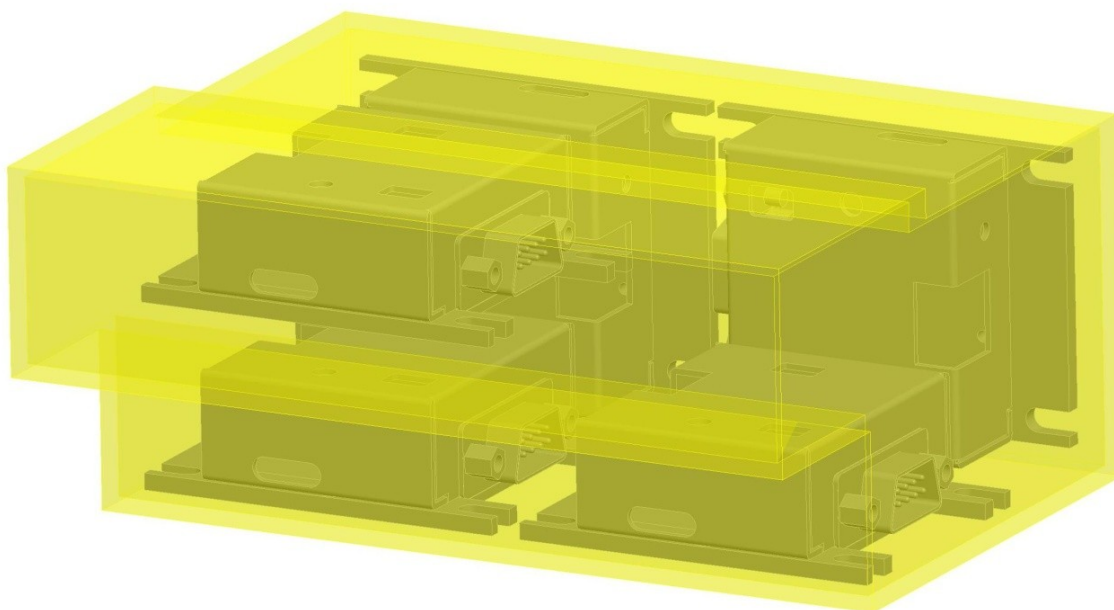
Upevňovací mechanismus se skládá z motoru, ozubeného převodu, hřídele, táhla, pomocných usměrňovacích plechů, rámů záchytných elementů a záchytných elementů. Upevňovací mechanismus je navrhnut tak, že upevní obě jednotky zároveň. Záchytné elementy slouží k přesnějšímu uložení jednotek a následnému uchopení. Samotné upevnění je realizováno kyvným pohybem záchytných elementů. Motor tyto elementy rozevírá.

Držení během pohybu robotu zajišťuje tažná pružina. Upevňovací mechanismus je navrhnut tak, že umožňuje upevnění i čtyř menších jednotek a to tak, že každá jednotka může mít jeden pár záchyťových mechanismů.

Rám záchytných elementů (obr. 5.3.1) je řešen bočnicemi, distančními kroužky, vloženými utěsněnými kuličkovými ložisky, které snižují tření a tím zvyšují účinnost motoru. Tento rám je sešroubován po vložení záchytných elementů, které jsou spojeny jedním táhlem mezi sebou a druhým táhlem k hřídeli. Hřídel je uložena v ložiscích, přenáší moment z tažné pružiny nebo motoru podle toho, jestli se mají elementy otevřít nebo zavřít. Při sestavování se k střednímu distančnímu kroužku přiloží pomocný usměrňovací plech a stáhne se šroubem. Pomocný ustavovací plech může pružit a tím zajistit rychlejší ustavení retranslačních jednotek. Tím pomáhá tlumit boční rázy jednotek při pohybu ARESU. Bočnice jsou navrženy tak, aby kryly táhlový mechanismus a vyloučily zaseknutí o cizí předměty.

## 5.4 Modul řízení motorů

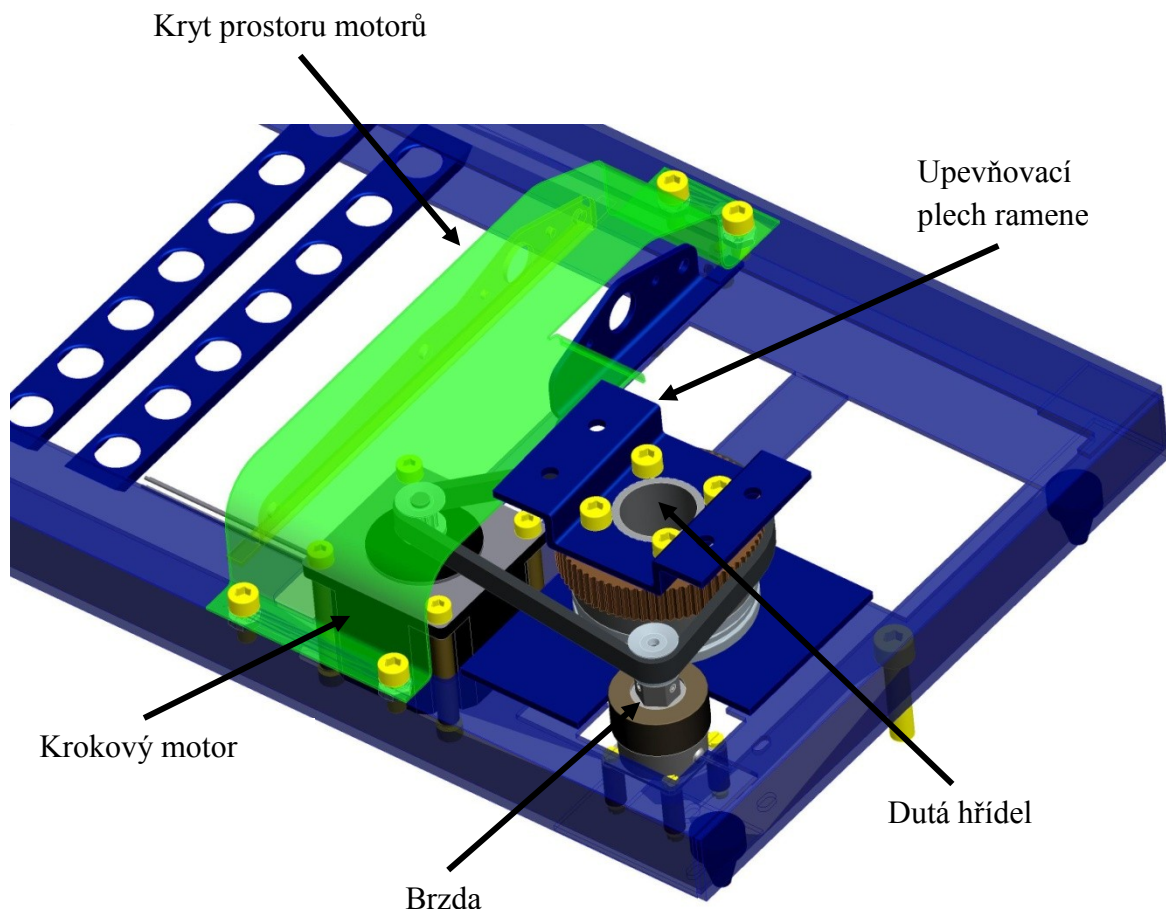
Modul řízení je řešen pouze schematicky k zachování dostatečného prostoru v konstrukci nástavby pro manipulaci s retranslačními stanicemi. Velikost navrženého rozměru dostačuje pro umístění šesti běžných řídicích jednotek krokových motorů a má ještě dostatečný rezervní prostor pro případnou instalaci hardwaru pro automatizaci nástavby. Rozměry modulu řízení jsou 140 x 85 x 60 mm



*Obr. 5.4.1 – Detail modulu řízení motorů*



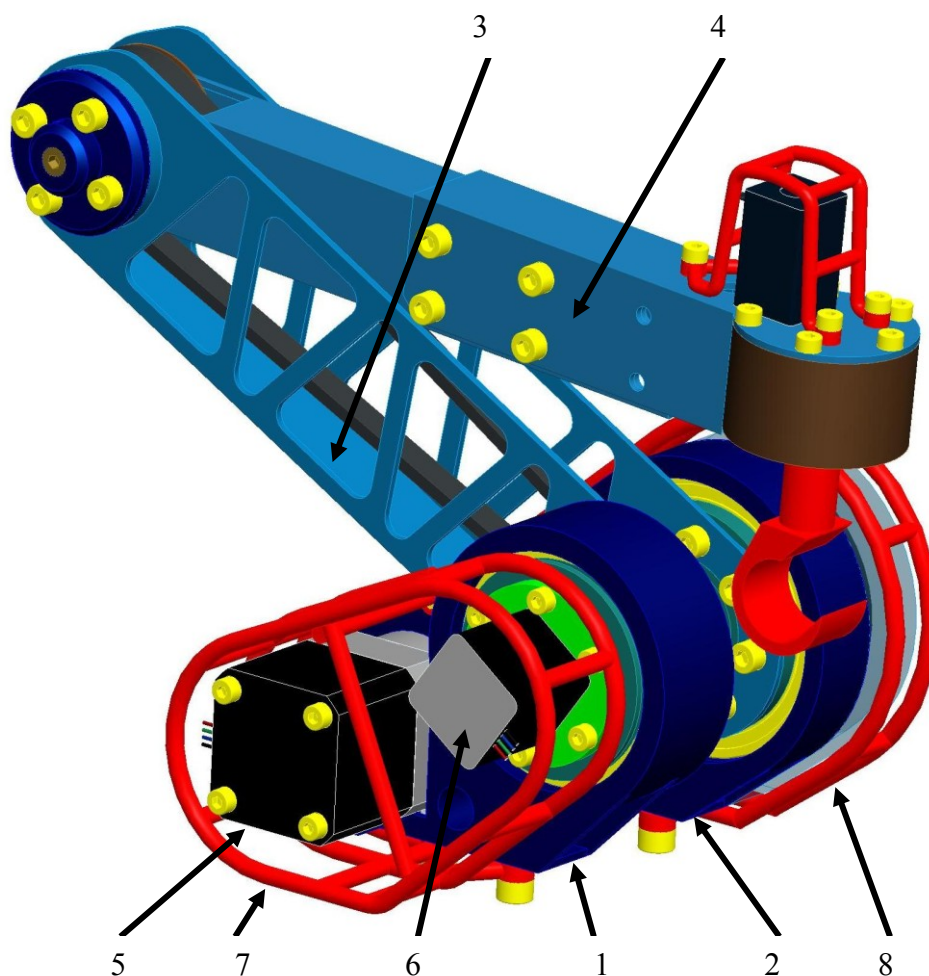
## 5.5 Sestava pohonu otáčení ramene



*Obr. 5.5.1 – Detail modulu pohonu otáčení ramene*

Sestava pohonů otáčení ramene se skládá z krokového motoru, elektromagnetické brzdy, ozubeného řemenu, ozubených řemenic, axiálních ložisek, krátkého dutého hřídele a upevňovacího plechu manipulačního ramene. Krokový motor je spojen pomocí ozubeného řemene s ozubenou řemenicí otoče a brzdou, která brzdí při odpojení od proudu. Ozubená řemenice otoče je spojena s hřídeli pomocí dvou per a je zajištěna upevňovacím plechem pomocí imbusových šroubů. Krokový motor a brzda jsou přišroubovány k rámu pomocí upevňovacích otvorů, které umožňují napnutí ozubeného řemenu při montáži. Prostor určený pro motor otáčení a motor upevňovacího mechanismu je zakryt proti poškození krycím plechem.

## 5.6 Manipulační rameno



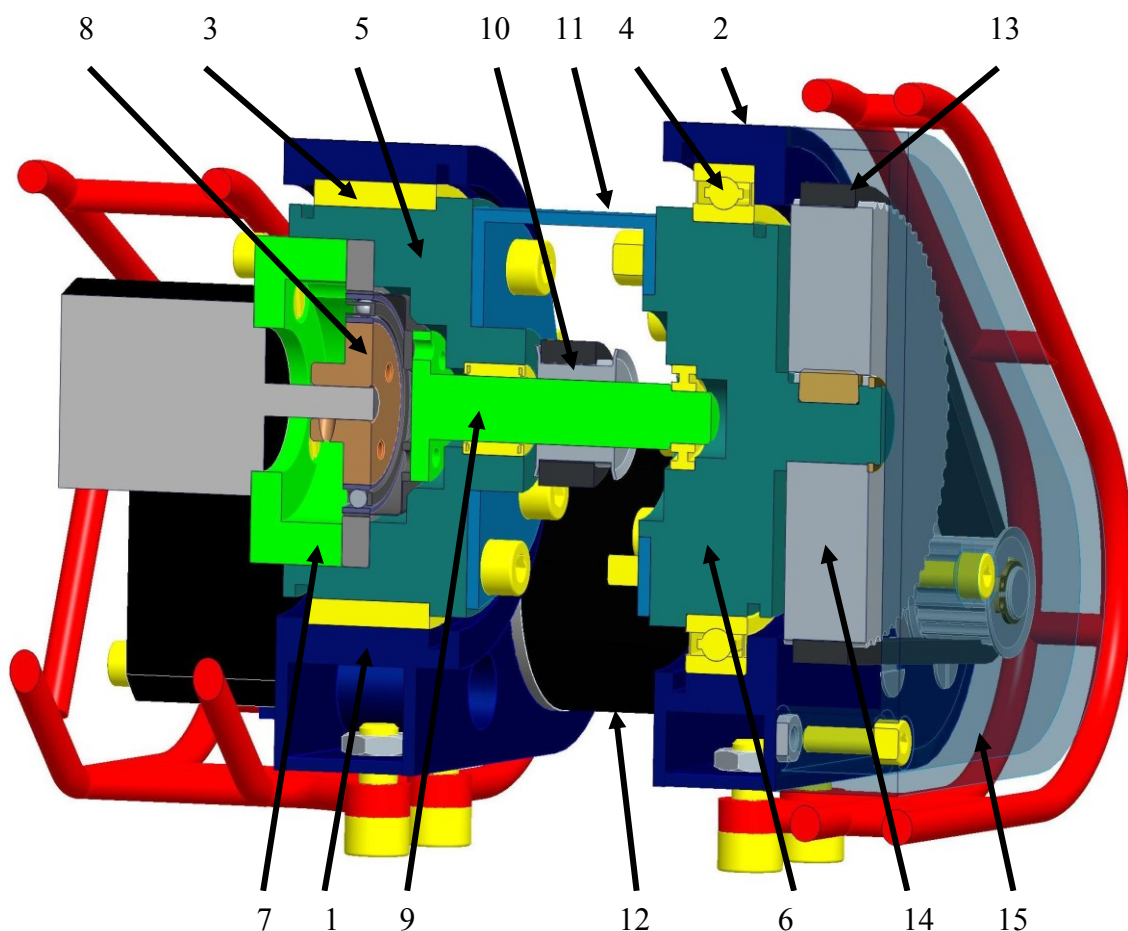
Obr. 5.6.1 – Detail manipulačního ramene

Legenda k obr. 5.6.1:

1. Podpěra s ložiskem pravá
2. Podpěra s ložiskem levá
3. První stupeň ramene
4. Druhý stupeň ramene
5. Motor pro pohon prvního ramene
6. Motor pro pohon druhého ramene
7. Ochranný rám motorů
8. Ochranný rám ozubeného převodu

Manipulační rameno je sestaveno z prvního stupně ramene, druhého stupně ramene a základny manipulačního ramene. Na základnu je upevněn motor pro pohon prvního ramene. Pro zajištění dostatečného kroutícího momentu motoru určeného pro první rameno je k motoru připojena planetová převodovka, která má převodový poměr 35:1. Následně je pomocí ozubeného řemenu kroutící moment zvětšen převodovým poměrem 4:1. Druhý

motor pro pohon druhého stupně ramene je připevněn na spojovací element převodu, který je připevněn na nosič ramene pravý (obr. 5.6.1). Tento motor se otáčí spolu s prvním ramenem. Tímto způsobem není nutné řešit kompenzaci pohybu, který vznikl u varianty C umístěním motorů do základny ramene. Na druhý motor je připevněna harmonická převodovka 50:1. Pro převod pohonu k druhému kloubu ramen je ozubený řemen. Ozubený řemen je kryt prvním stupněm ramene. Napínání je řešeno excentrickým čepem na konci prvního ramene, který se po napnutí zajistí. U druhého ramene (obr. 5.6.1) se dá měnit manuálně délka vysunutím konce ramene o 35 mm. Rameno se tak prodlouží z 280 mm na 315mm. Na konci ramene je připevněna pomocná otoč (obr. 5.6.3), která slouží k otáčení jednotky do upevňovacího mechanismu nebo k snadnějšímu chycení jednotky. Pro otáčení je zde umístěn malý krokový motor, který přenáší pomocí ozubeného soukolí moment na hák. Motor na konci ramene je chráněn svařovanou ochranou klecí, která je upevněna pomocí tří šroubů. Ochranný rám je také umístěn u motorů ramen, kde zabraňuje pádu těles přímo na motory. Jelikož se všechny použité motory dají objednat s vodotěsným krytím IPX7 není nutno řešit hermetické zakrytí motorů.



Obr. 5.6.2 – Řez prvním kloubem manipulačního ramene

Legenda k obr. 5.6.2:

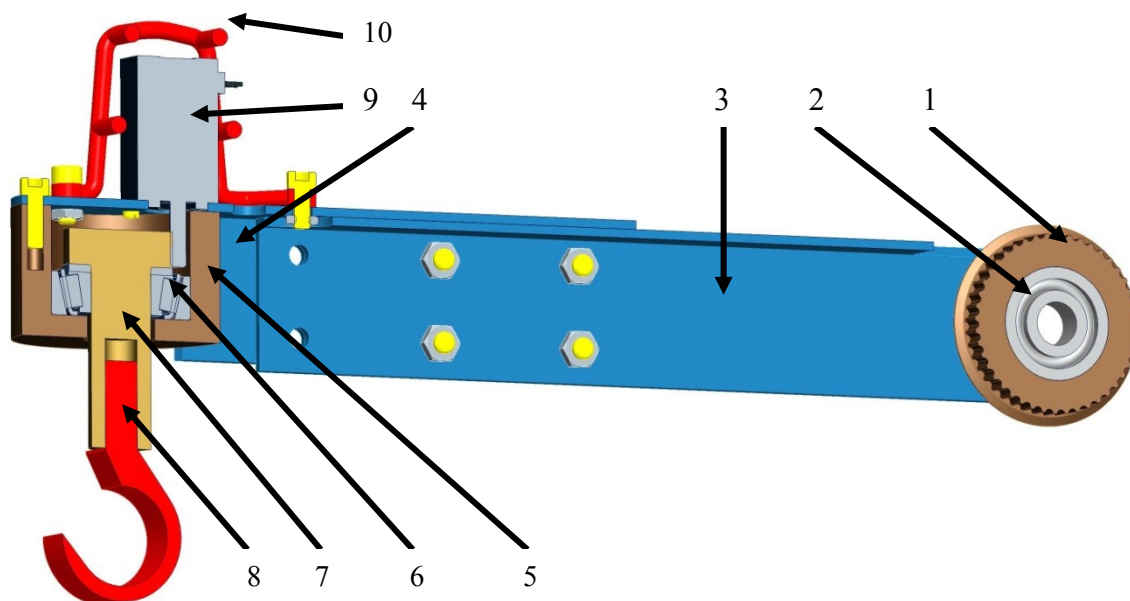
1. Podpěra ložiska pravá
2. Podpěra ložiska levá
3. Jehlové ložisko
4. Kuličkové ložisko
5. Nosič ramene pravý
6. Nosič ramene levý
7. Spojovací element motoru a převodovky
8. Harmonická převodovka
9. Přenosný hřídel - zvedání koncového ramene
10. Ozubená řemenice – zvedání koncového ramene
11. Profil prvního ramene
12. Planetová převodovka – zvedání prvního ramene
13. Ozubený řemen – zvedání prvního ramene
14. Převodové soukolí – zvedání prvního ramene
15. Kryt převodu – zvedání ramene

V řezu 5.6.2 je vidět uchycení motoru spojovací element, který je pak následně sešroubován přes pevný člen harmonické převodovky k nosiči ramene pravému (obr. 5.6.2). Tento člen je uložen v ložiscích a je připevněn k prvnímu ramenu. Uvnitř pravého nosiče ramene je místo pro harmonickou převodovku a pro hřídel, která je uložena také v ložiscích. Na této hřídeli je umístěna ozubená řemenice. Na druhé straně ramene je přišroubován nosič ramene levý, který je uložen v kuličkovém ložisku, které je uloženo v levé podpěře ložiska. Podpěry ložisek jsou základnou ramene. K levému nosiči ramene je pomocí pera a pojistného kroužku přidělena ozubená řemenice, která přenáší moment od pohonu. Tento převod je chráněn před vodou a nečistotami plastovým krytem, který drží dva imbusové šrouby. Jelikož tento plastový kryt není dostatečně odolný vůči nárazu, je chráněn svařovaným ochranným rámem, který má větší odolnost proti nárazu. Tento ochranný rám s plastovým krytem je lehčí než kryt z ocelového plechu.

Rameno druhého stupně (obr. 5.6.3) se skládá ze dvou U profilů, které do sebe zapadají. Rameno se tak dá manuálně prodloužit v případě změny výšky jednotky nebo v potřebě zvětšit dosah ramene. Na konci výsuvného dílu ramene je umístěna otoč, která je složena z kuželového ložiska. V kuličkovém ložisku je nalisovaná hřídel, na které je vytvořeno ozubení. Ozubení je vytvořeno z důvodu převodu momentu z motoru na koncovou otoč. Tento motor má již od výrobce vytvořené ozubení na svém rotoru. Hřídel má ve své spodní části vyvrtanou díru se závitem, do kterého se našroubuje vhodné



zařízení pro uchopení jednotek. V navrženém případě je to obyčejný hák. Dále je pak ponecháno místo pro kameru ve vnitřním U profilu, aby bylo vidět na uchopování jednotek. Důležitou součástí ramene je ozubená řemenice, díky které se rameno může otáčet. Tato řemenice je upravena tak, že je do ní vysoustružena díra pro dvě jednořadá ložiska pro větší tuhost ramene. Ložiska jsou v řemenici zajištěna pojistným kroužkem. Motor je kryt ochranným svařovaným rámem proti možnému poškození při pohybu ramene.



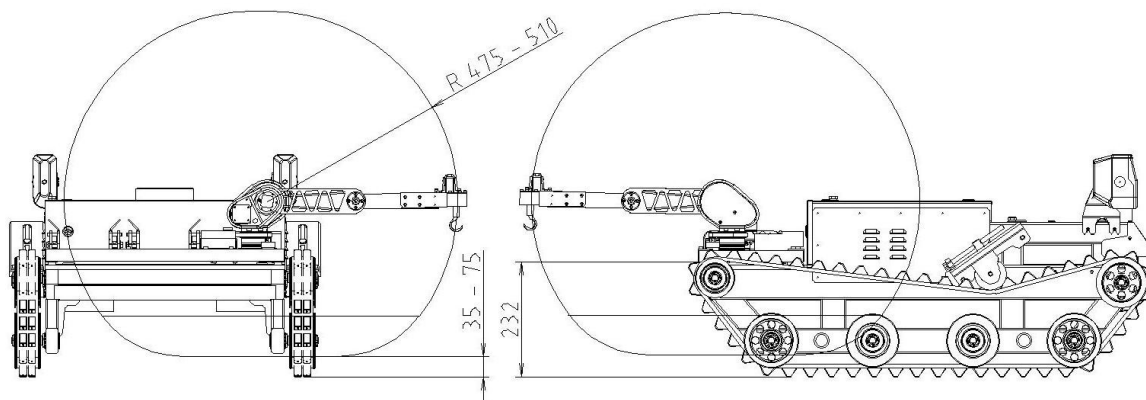
Obr. 5.6.3 – Řez koncovým ramenem

Legenda k obr. 5.6.3:

1. Ozubená řemenice – zvedání koncového ramene
2. Kuličková ložiska
3. Základní část koncového ramene
4. Prodloužení koncového ramene
5. Nosič háku
6. Kuželíkové ložisko
7. Otáčecí nosný čep háku
8. Háček

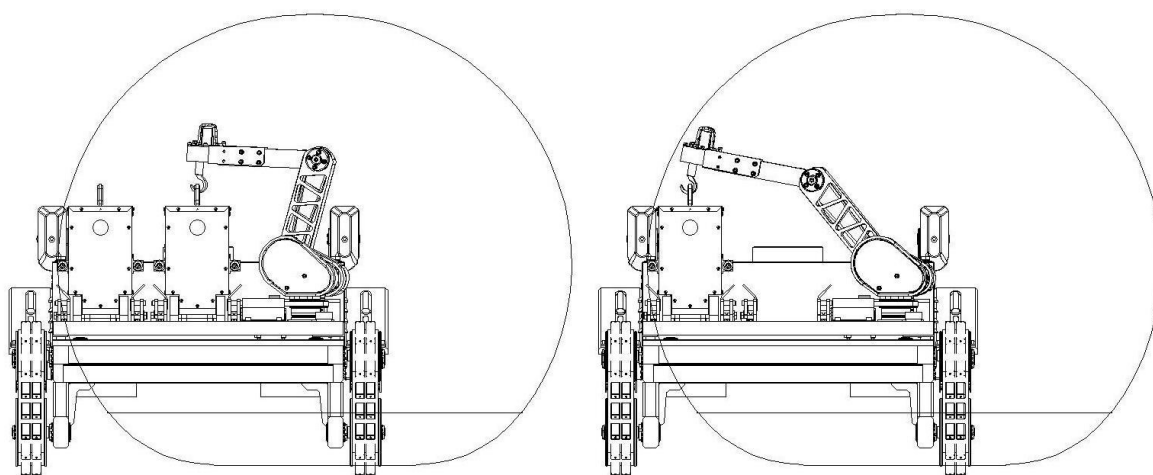
## 6 Ukázka nakládání jednotky a dosah nástavby

Navržená nástavba pro manipulaci s retranslačními stanicemi má sférický manipulační prostor. Poloměr dosahu ramene je 475 mm. Koncové rameno se dá prodloužit o 35 mm posunutím v dírách. Tímto posunutím získáme poloměr ramene 510 mm. Dosah ramene od země činí v závislosti na nastavené délce od 35 do 75 mm.



Obr. 6.1 – Pracovní prostor ramene

Postup nakládání stanic je následující: První je vyložení stanice bližší k manipulačnímu rameni. Po vyložení první stanice můžeme bezpečně manipulovat s druhou stanicí. Při vykládání stanic je potřeba ramenem tyto stanice zvednout o 50 mm. Toto zvednutí musíme provést z důvodu navrženého uchycení stanic. Stanice jsou uchyceny v přídržném systému ve tvaru V. Pro nakládání jednotek jsou zabudována přídatná vedení, která pomáhají jednoduššímu uložení jednotek, které se následně zajistí pro přepravu.



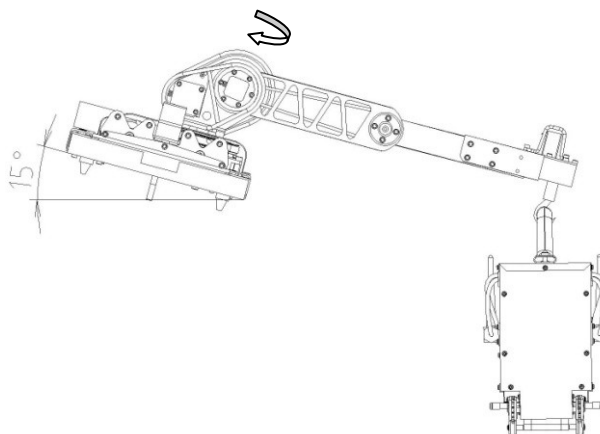
Obr. 6.2 – Ověření uchycení stanic

## 7 Analýza potřebných momentů

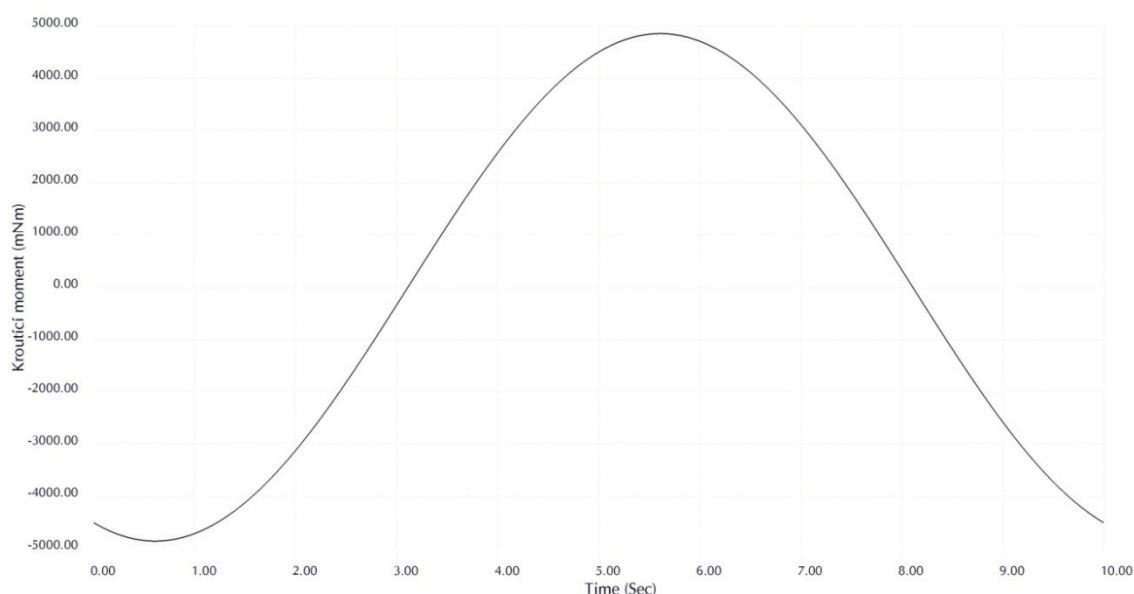
Provedl jsem analýzy v programu ProEngineer Wildfire 5. Účelem analýz je zjistit potřebné průběhy kroutících momentů. Analýza byla prováděna z 3D modelu navržené nástavby. 3D model je součástí elektronických příloh. V modelu jsou tyto analýzy naprogramované. Ke všem dílům je přiřazen materiál s příslušnou hustotou. Provedené analýzy jsou nastavené jako dynamické.

### 7.1 Určení maximálního momentu pro otáčení ramene

Analýza je nastavena tak, aby zjistila kroutící moment potřebný pro otáčení manipulačního ramene. Tento moment je umístěn v ose otáčení. Analýza průběhu kroutícího momentu otáčení ramene se počítá při sklonění nástavby pod úhlem  $15^\circ$  od horizontální roviny. Natažené rameno nese na svém konci translační jednotku. Proto síly působí na největším poloměru.



Obr. 7.1.1 – Analýza maximálního momentu otáčení

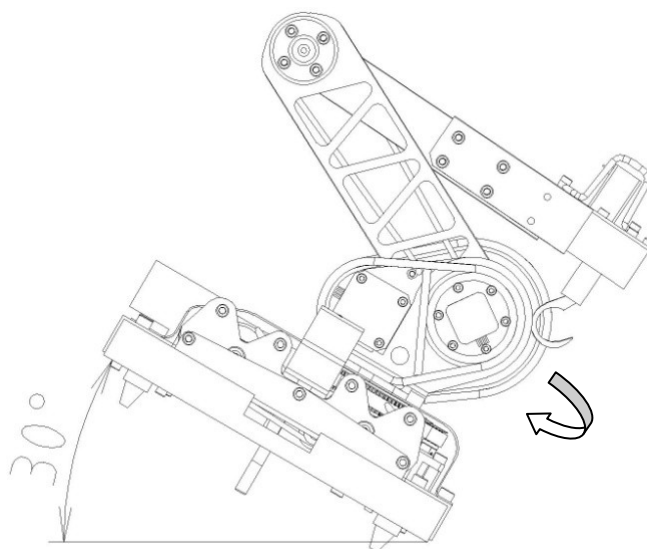


Obr. 7.1.2 – Analýza kroutícího momentu otáčení při nataženém rameni

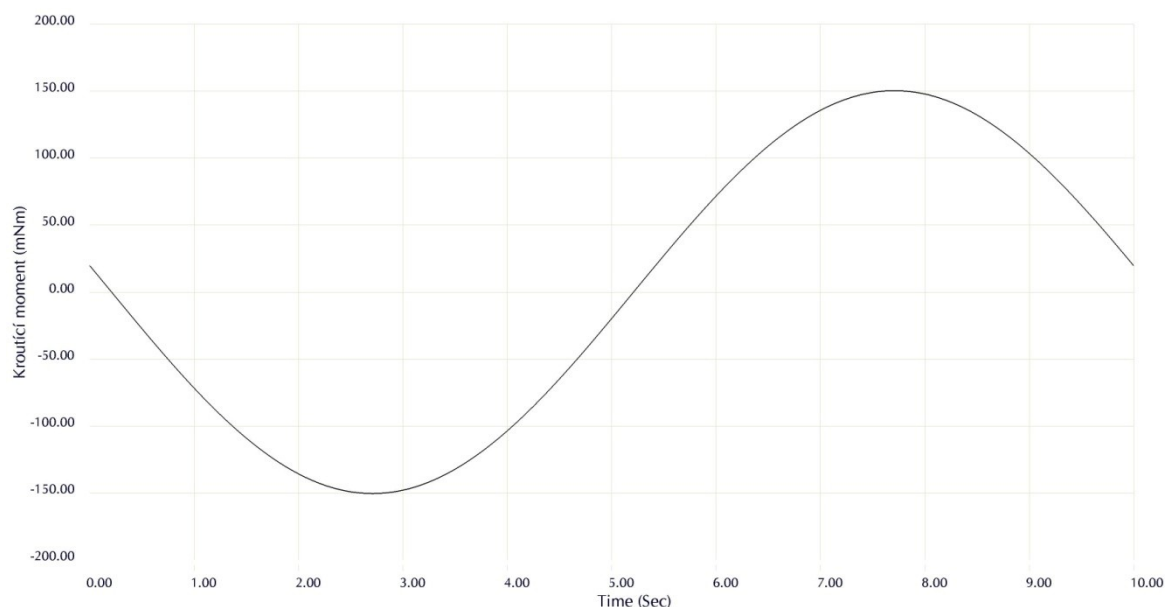
Analýzou byl zjištěn jako největší potřebný moment 4884 mNm pro otáčení translační jednotky na konci nataženého ramena.

## 7.2 Určení maximálního momentu pro brzdění

Analýza je nastavena pro zjištění momentu potřebného pro zabrzdění otáčení ramene. V této analýze se počítá největší možný moment potřebný pro brzdu při jízdě ARESU po normalizovaných schodech. Sklonění nástavby je v takovém případě 30°. Při výpočtu této analýzy je rameno složené v transportní poloze. Není zatíženo žádnou silou na konci ramene.



Obr. 7.2.1 – Analýza maximálního momentu brzdění

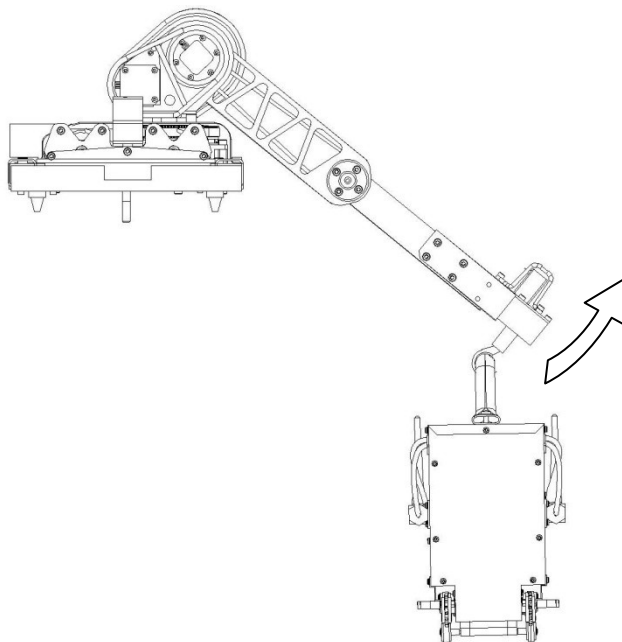


Obr. 7.2.2 – Analýza kroucího momentu otáčení při složeném rameni

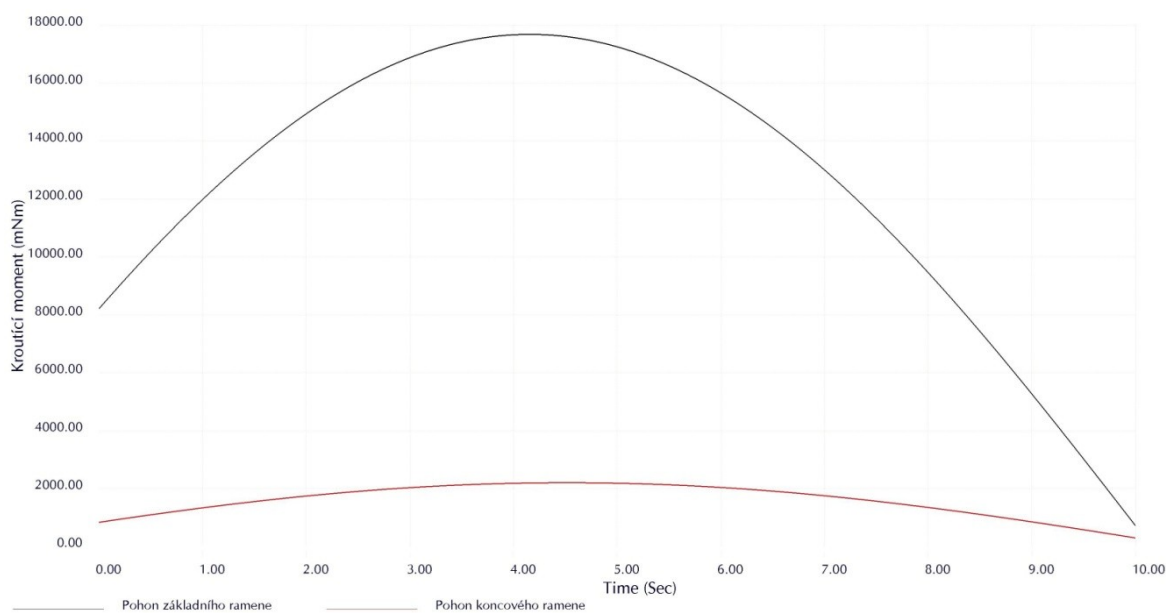
Analýzou vyšel výsledek jako největší potřebný kroucí moment 150,5 mNm. Tento maximální moment je při otočení ramen o 90° od normální transportní polohy.

### 7.3 Určení momentů pro zvedání ramene

Analýza počítá momenty v ose prvního kloubu ramene. Tyto momenty vznikají od zvedání retranslačních stanic o váze 2,5 kg na nataženém rameni. Při zvedání stanice na konci ramene vzniká největší moment.



Obr.7.3.1 – Analýza zvedání ramene

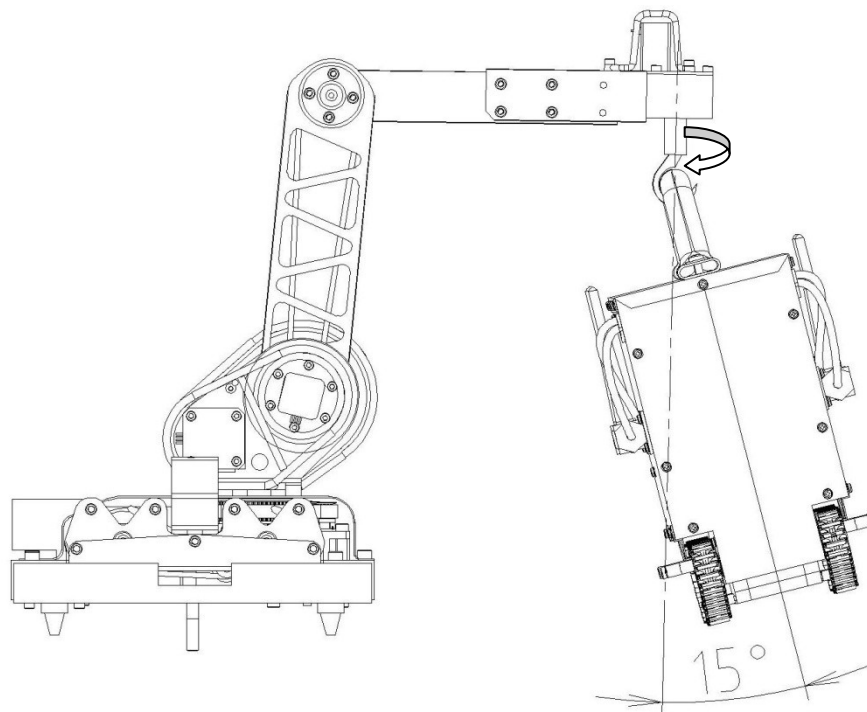


Obr. 7.3 – Analýza kroutících momentů při zvedání jednotek ramenem

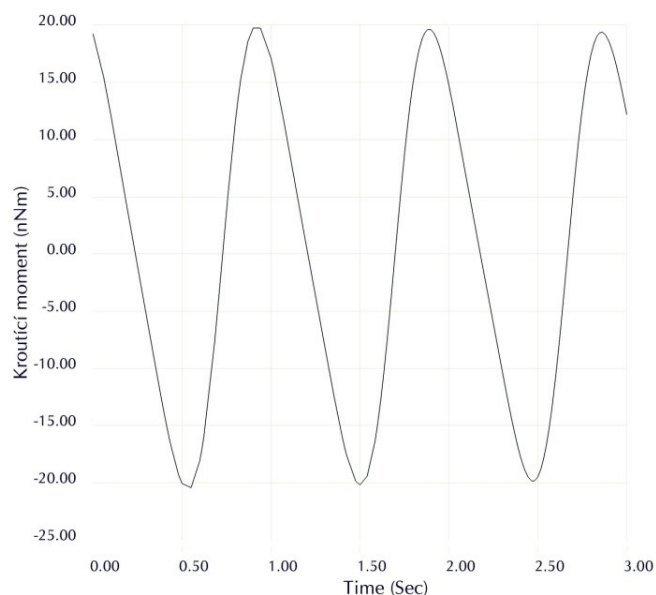
Výsledkem analýzy je určení kroutícího momentu pro zvedání prvního ramene, ke kterému je připevněné druhé rameno a zavěšená stanice. Tento moment je 17751 mNm. Druhý kroutící moment, který otáčí druhým ramenem, na kterém je zavěšená jednotka je 2400 mNm.

## 7.4 Určení momentů pro otáčení stanice na konci ramene

Čtvrtá analýza byla provedena za účelem zjistit orientačně potřebný moment otáčení stanice na konci ramene. V této analýze byla jednotka vychýlena od vertikální roviny o  $10^\circ$ . Tímto následkem se stanice kýve na háku a vyvolává tak kmitání na momentu.



Obr. 7.4.1 – Analýza otáčení jednotky



Obr. 7.3 – Analýza krouticích momentu otáčení stanice na konci ramene

Z vykonané analýzy byl vypočten jako největší moment 0,02 Nm. Tato analýza je orientační s ohledem na možné změny úhlu ramene a také na to, že není potřeba koncovou otočí otáčet ve všech polohách. Jednotka se nechá ustálit a tím klesne potřebný moment.

## 8 Volba motorů

Volba motorů je zaměřena na co nejmenší rozměry a vyvinutím co největšího momentu a dále s ohledem na další uvažovanou automatizaci manipulační nástavby. Tato uvažovaná automatizace by byla řešena v případě realizace konstrukce nástavby. Není zadán požadavek na rychlost nakládání ramene, proto otáčky motorů při volbě nepočítám.

Jako nejvhodnější motory jsem zvolil krokové motory a to pro přesné řízení polohy a možností jednoduchého zastavení motorů v požadované poloze. Tyto motory mají i dobrou hodnotu statického momentu. Jako nejvhodnější pro mou konstrukci jsem zvolil krokové motory od firmy Lin Engineering. Mají široký sortiment motorů, které se dají upravit podle požadavku zákazníka za výhodných cenových podmínek.

### 8.1 Motor pro otáčení ramene

Na základě předešlé analýzy momentu pro otáčení ramene 7.1 jsem zjistil potřebný moment 4,884 Nm. Pro tento pohon jsem navrhl motor Lin Engineering WO-5818X-03S (technické parametry v příloze č. 7.) v kombinaci s převodem ozubeným řemenem.

#### Zadané hodnoty:

Účinnost převodu ozubeným řemenem:	$\eta_{OPr1}$	=	95%
Převodový poměr ozubeným řemenem:	$i_{OPr1}$	=	6
Účinnost ložisek:	$\eta_L$	=	99%
Požadovaný moment pro otáčení ramene:	$M_{pO}$	=	4,89 Nm
Výstupní moment motoru	$M_{m1}$	=	1,1 Nm

#### Dosažený moment pro otáčení ramene

Na základě porovnání vypočteného kroutícího momentu motoru a požadovaného momentu má motor 26% rezervu a vyhovuje.

### 8.2 Motor pro zvedání prvního ramene

Z analýzy zvedání ramene 7.3 jsem zjistil velikost potřebného kroutícího momentu 17,751 Nm. Pro zvedání prvního ramene jsem zvolil krokový motor Lin Engineering WO-4118S-02 (technické parametry v příloze č. 6.) v kombinaci s planetovou převodovkou a převodem ozubeným řemenem.

#### Zadané hodnoty:

Účinnost převodu ozubeným řemenem:	$\eta_{OPr2}$	=	95%
Převodový poměr ozubeným řemenem:	$i_{OPr2}$	=	4

Účinnost planetové převodovky :	$\eta_{PPř}$	=	80%
Převodový poměr planetové převodovky:	$i_{PPř}$	=	35
Účinnost ložisek:	$\eta_L$	=	99%
Požadovaný moment pro zvedání prvního ramene:	$M_{ZPR1}$	=	17,751 Nm
Výstupní moment motoru	$M_{m2}$	=	0,32 Nm

#### **Dosažený moment pro zvedání prvního ramene**

Na základě porovnání vypočteného kroutícího momentu motoru a požadovaného momentu má motor 89% rezervu a vyhovuje.

### **8.3 Motor pro zvedání koncového ramene**

Moment potřebný pro zvedání koncového ramene je 2,4 Nm z analýzy 7.2. Volím krokový motor Lin Engineering WO-211-13-01 (technické parametry v příloze č. 5). Za tímto motorem je připojena harmonická převodovka Harmonic Drive AG a následný převod ozubeným řemenem.

#### **Zadané hodnoty:**

Účinnost převodu ozubeným řemenem:	$\eta_{OPř3}$	=	95%
Převodový poměr ozubeným řemenem:	$i_{OPř3}$	=	2,4
Účinnost harmonické převodovky :	$\eta_{HPř}$	=	90%
Převodový poměr harmonické převodovky:	$i_{HPř}$	=	50
Účinnost ložisek:	$\eta_L$	=	99%
Požadovaný moment pro zvedání prvního ramene:	$M_{ZPR2}$	=	2,4 Nm
Výstupní moment motoru	$M_{m3}$	=	0,06 Nm

#### **Dosažený moment pro zvedání koncového ramene**

Na základě porovnání vypočteného kroutícího momentu motoru a požadovaného momentu má motor 150 % rezervu a vyhovuje.

### **8.4 Motor pro otáčení jednotky na konci ramene**

Zjištěný moment z analýzy 7.4 je 0,02 Nm. Navrhnul jsem krokový motor Lin Engineering WO-208-13-01 (technické parametry v příloze č. 4.) v kombinaci s ozubeným převodem.



**Zadané hodnoty:**

Účinnost ozubeného převodu:	$\eta_{OzPř}$	=	90%
Převodový poměr ozubeného převodu:	$i_{OzPř}$	=	5
Účinnost ložisek:	$\eta_L$	=	99%
Požadovaný moment pro otáčení háku:	$M_{OJ}$	=	0,02 Nm
Výstupní moment motoru	$M_{m4}$	=	0,02 Nm

**Dosažený moment pro otáčení jednotky na konci ramene**

Na základě porovnání vypočteného krouticího momentu motoru a požadovaného momentu má motor 345% rezervu a vyhovuje.

**8.5 Motor pro otevírání zajištění stanic**

Síla potřebná pro otevření zajištění stanic je odvozená od zvolené tažné pružiny. Tato pružina musí mít tažnou sílu, která překonává smykové tření v přípevňovacích čepech a tlumí rázy při pojezdu ARESU. Tyto rázy se dají jen velice obtížně spočítat. Přesnější způsob je odzkoušení těchto pružin přímo v praxi. V konstrukci je místo pro případné přidání druhé tažné pružiny nebo případnou výměnu pružiny za jinou silnější pružinu.

Motor pro otevírání zajištění stanic jsem proto volil odhadem s velkou rezervou. Zvolený motor je Lin Engineering WO-4118S-02 (technické parametry v příloze č. 6.). Tento motor je již jednou použit v konstrukci pro pohon prvního ramene.

**Zadané hodnoty:**

Účinnost převodu ozubeným řemenem:	$\eta_{OPř4}$	=	95%
Převodový poměr ozubeným řemenem:	$i_{OPř4}$	=	3
Účinnost ložisek:	$\eta_L$	=	99%
Odhadovaný požadovaný moment otevření zajištění:	$M_{OZ}$	=	0,6 Nm
Výstupní moment motoru	$M_{m5}$	=	0,32 Nm

**Dosažený moment pro otevření zajištění stanic**

Na základě porovnání vypočteného krouticího momentu motoru a požadovaného momentu má motor 50% rezervu a vyhovuje.

## 9 Pevnostní kontrola hlavních namáhaných dílů

Hlavní namáhané díly jsou zkontrolovány v programu ANSYS Workbench 12. Vybrané díly jsou kontrolovány na deformace a napětí v dílu. Použité díly byly vymodelovány v programu ProEngineer Wildfire 5.

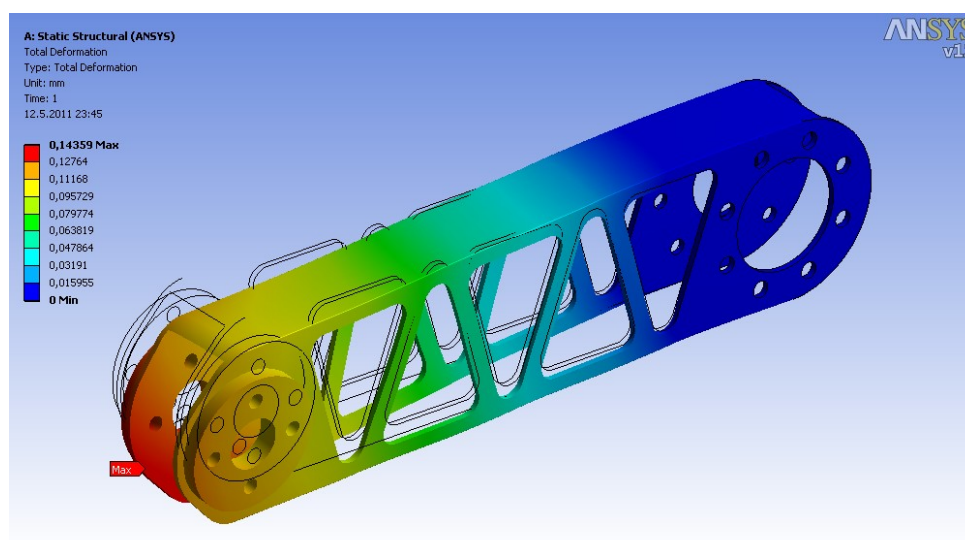
Použitý materiál pro pevnostní analýzu je hliníková slitina pro oba stupně ramene a pro záchytový element. V tab. 9.1 jsou uvedeny vlastnosti použité slitiny.

Vlastnosti hliníkové slitiny EN AW-6060 T66 [AlMgSi]			
Vlastnosti	Zkoušeno	Jednotky	Hodnota
Hustota	ISO 1183	kg /m <sup>3</sup>	2770
Mez pevnosti v tahu	ISO 527	MPa	310
Mez kluzu	-	MPa	280
Modul pružnosti v tahu	ISO 527	MPa	71000

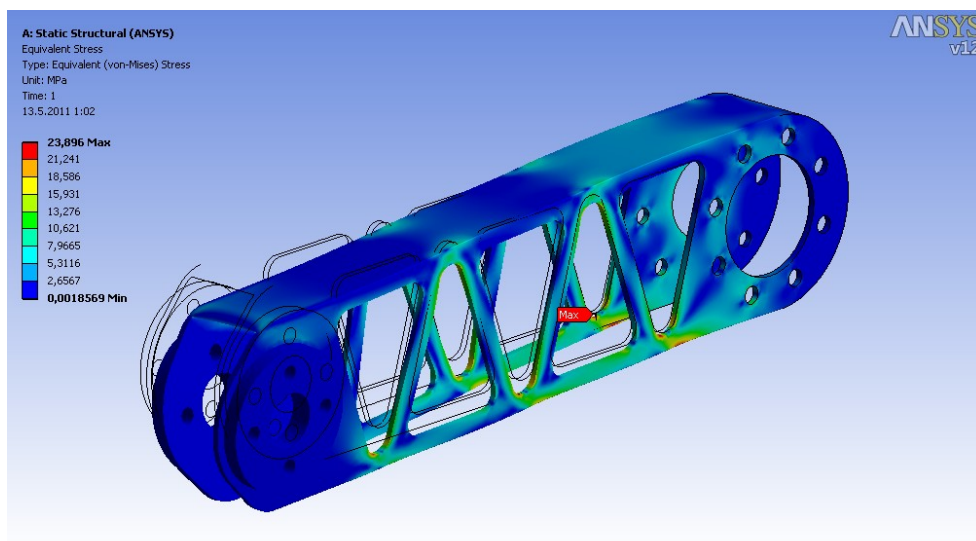
Tab. 9.1 – Vlastnosti slitiny

### 9.1 První stupeň ramene

První stupeň ramene je nejvíce namáhaný díl celé nástavby. Na toto rameno je upevněno další rameno a následně na něm je zavěšen objekt manipulace. Rameno je na jednom konci pevně chyceno a na druhý konec působí váha druhého ramene a objektu manipulace. V předešlé analýze jsem zjistil, že na konec prvního ramene působí síla o velikosti 75 N.



Obr. 9.1.1 – Analýza deformací



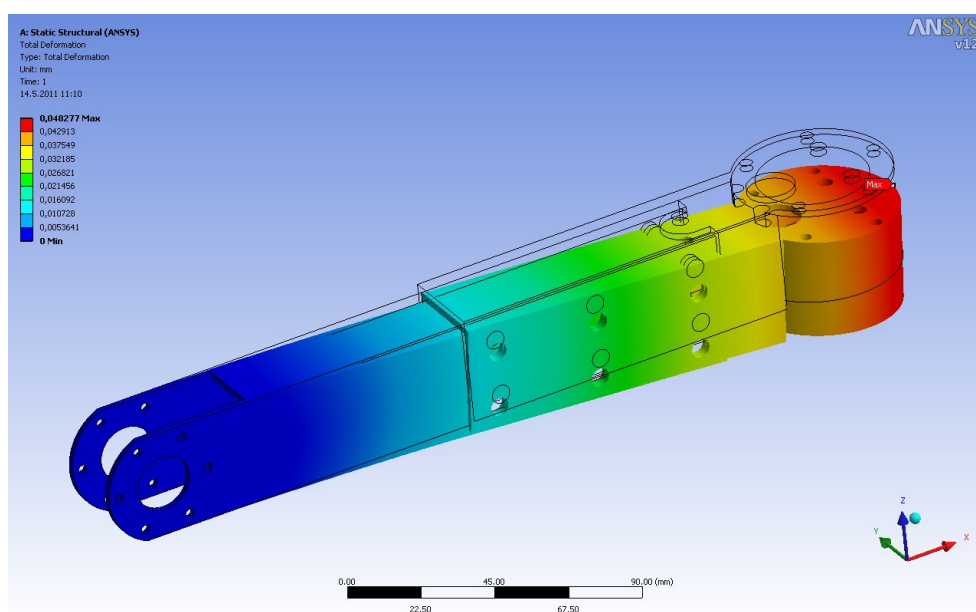
Obr. 9.1.2 – Analýza napětí

Byla provedena analýza navrženého ramene. Na obr. 9.1.1 je uveden výsledek deformace. Maximální průhyb ramene je 0.140 mm. Na obr. 9.1.2 jsou vidět místa, kde se tvoří napětí. Maximální namáhání je 23.335 MPa, Místo je označeno červenou barvou.

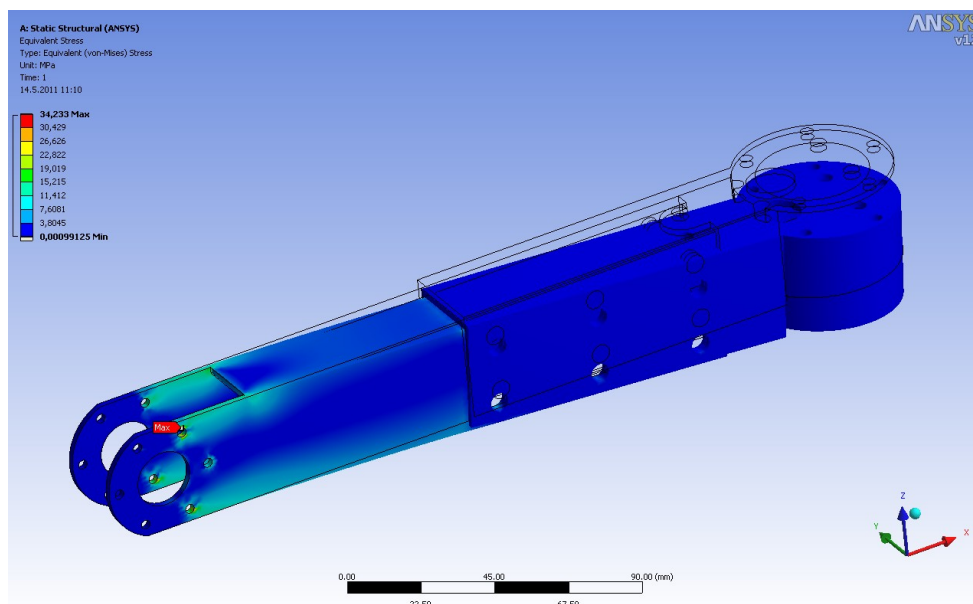
Na základě porovnání maximálního napětí v rameni a dovolených hodnot pro hliník toto rameno vydrží namáhání, které způsobuje zvedání dalšího ramene a břemene.

## 9.2 Druhý stupeň ramene

Druhý stupeň ramene je další součástí, která je namáhána. Jeden konec je zachycen pomocí ozubené řemenice. Na druhý konec tohoto ramene působí váha zvedaného břemene a váha prvků otáčení jednotky. Z analýzy sil byla zjištěna zatěžující síla 35 N.



Obr. 9.2.1 – Analýza deformací

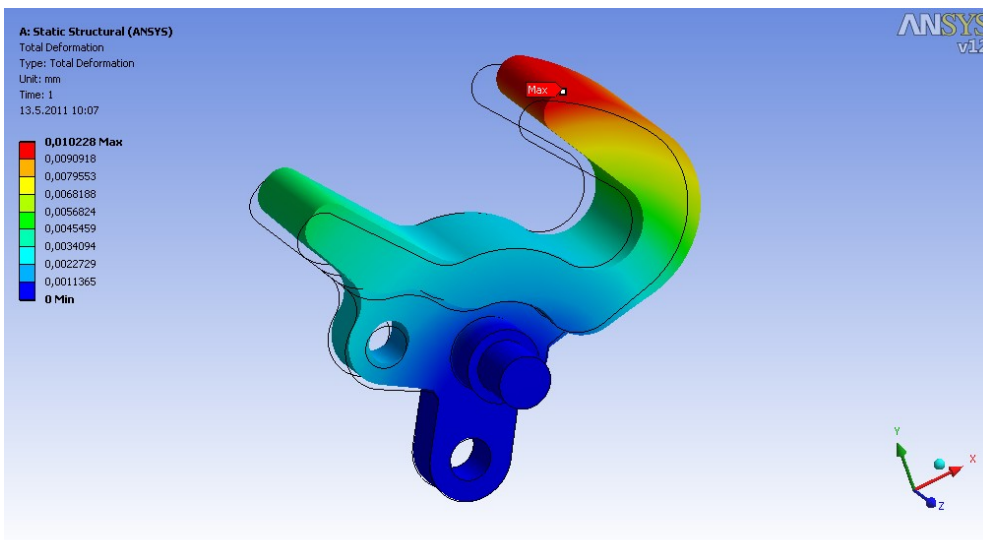


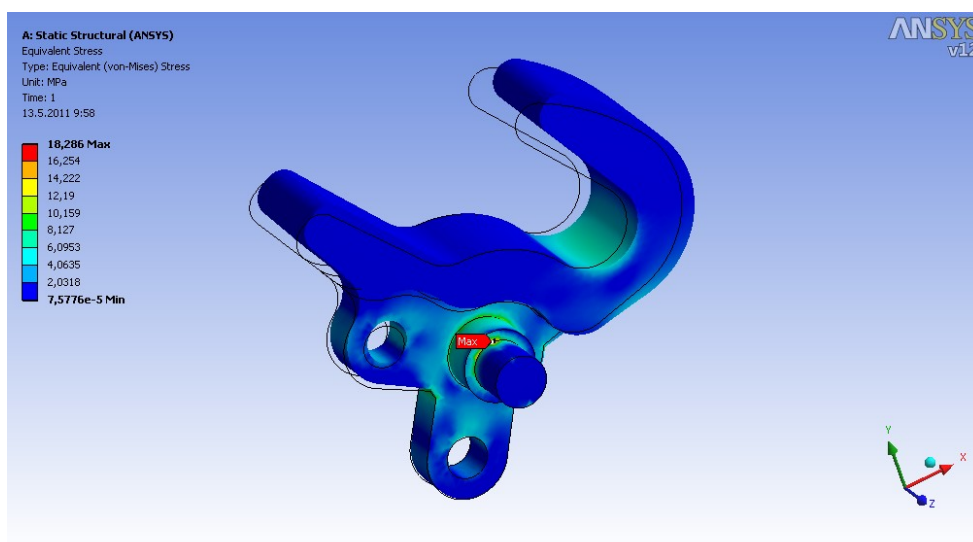
Obr. 9.2.2 – Analýza napětí

Na obr. 9.2.1 je uveden výsledek deformací druhého ramene. Maximální průhyb ramene je 0,048 mm. Na obr. 9.2.2 jsou vidět místa, kde dosahuje napětí maxima. Maximální napětí v tomto místě je 34,23 MPa. Z porovnání výsledků analýzy a tabulkových hodnot je patrné, že koncové rameno toto namáhání vydrží.

### 9.3 Záchyťový element uchopovacího mechanismu

Záchyťový element musí udržet jednotku v určené poloze i v případě, kdy ARES jede do schodů. Přitom je tento díl vystaven namáhání. Element musí být navržen na dlouhodobé používání. Tomu musí odpovídat jeho konstrukce. Analýza je nastavená na počítání namáhání elementu, kdy jeden element drží celou váhu jednotky na začátku háčku. Tímto nastavením analýzy zajistíme výpočet největšího namáhání.



*Obr. 9.3.1 – Analýza deformací**Obr. 9.3.2 – Analýza napětí*

Z provedené analýzy vyšla maximální deformace 0,01mm. Místo maximální deformace je zobrazeno na obr. 9.3.1. Na obr. 9.3.2 je zobrazeno místo maximálního napětí. Toto maximální napětí dosahuje hodnoty 18,286 MPa. Při porovnání výsledků a tabulkových hodnot navržený element vydrží.

## 11 Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení navržené konstrukce					
	Komponent	Počet	Polotovar	Cena / kus	Cena
1	Řemenice 12-03M-09 1F	4		47 Kč	188
2	Řemenice 40-03M-09 6F	1		76 Kč	76
3	Řemenice 72-03M-09 6	2		159 Kč	318
4	Řemen 03M-501	1		157 Kč	157
5	Řemen 03M-318	1		139 Kč	139
6	Řemen 03M-225	1		84 Kč	84
7	Řemen 03M-270	1		131 Kč	131
8	LinEngineering Step motor WO-211-13-01	1		\$ 70	1260
9	LinEngineering Step motor WO-4118S-01	2		\$ 53	1900
10	LinEngineering Step motor WO-5718X-05E	1		\$ 70	1260
11	LinEngineering Step motor WO-208-13-01	1		\$ 65	1170
12	LinEngineering Planetary Gear PM17 (NEMA17)	1		\$ 80	1440
13	Brzda (Power-off break)	1		\$ 195	3510
14	Harmonic Drive AG CPL-14-100	1		\$ 220	4000
15	Ložisko 625	18		30 Kč	540
16	Ložisko SKF 51108	2		318 Kč	636
17	Ložisko 6812	1		539 Kč	539
18	Ložisko 6000	2		68 Kč	136
19	Kuželíkové ložisko	1		70 Kč	70
20	Pera	5		28 Kč	140
21	Šrouby	133		3 Kč	399
22	Odhadovaná cena materiálu pro vyráběné díly		10 000 Kč		10 000
23	Odhadovaná cena výroby dílů				35 000
Celková odhadovaná cena nástavby (v Kč)					62 798

Tab.11.1 – Cenová kalkulace

Vypočtená cena kalkulace je pouze orientační z důvodu nepřesného odhadu spotřeby materiálu a doby výroby navržených dílů. Jedná se o prototyp, z tohoto důvodu se doba kusové výroby těžko odhaduje. Dalším vlivem na cenu je kurzový rozdíl nakupovaných součástí v zahraničí.

## 12 Závěr

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem manipulační nástavby pro manipulaci s retranslačními stanicemi na mobilní robot ARES.

Byly analyzovány možnosti umístění nástavby na mobilním robotu ARES. Byla analyzována retranslační jednotka, která byla konstruována v rámci bakalářské práce Martin Soukupem současně s konstruováním manipulační nástavby.

Z navržené varianty C vznikla odvozená varianta D, která je konstrukčně výhodnější. Pro variantu D byl vypracován podrobný 3D model v programu ProEngineer wildfire 5.0, který je součástí elektronických příloh. V konstrukci nástavby se řeší manipulace se stanicemi a jejich uchycení během přepravy. Manipulaci obstarává otočné manipulační rameno zakončené hákem. Háček se dá vyměnit za jiný uchopovací prvek. Dalším prvkem nástavby je připevňovací mechanismus stanic, který zajišťuje jednotky během přepravy. Tento uchopovací mechanismus se dá použít i pro čtyři poloviční retranslační stanice. Všechny motory byly navrženy na základě momentové podmínky.

V rámci konstrukčního návrhu byly ověřeny namáhané prvky pevnostní analýzou v programu ANSYS Workbench Products.

V rámci této práce není řešeno řízení ramene a upevňovacího mechanismu. Řešení těchto úkolů by bylo řešeno v rámci další realizace manipulační nástavby. Dalším rozšířením mechaniky nástavby je její celková automatizace nakládání a vykládání retranslačních stanic. V konstrukci je pro tento účel vyhrazen prostor pro řídicí jednotky.

Zpracoval jsem ekonomický odhad výrobní ceny manipulační nástavby. Jelikož se jedná o prototyp, odhad byl zpracován pro kusovou výrobu. Odhadovaná výrobní cena je 65 000 Kč. Cena se může měnit v závislosti na změně kurzu.



## 13 Použitá literatura

### Tištěná:

- [ 1 ] KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. VŠB – TU Ostrava, 2004. 144s. ISBN 80-248-0626-6
- [ 2 ] SKAŘUPA, Jiří. *Metodika konstruování v oboru*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 1993. 152 s. ISBN 80-7078-167-X.
- [ 3 ] SKAŘUPA, Jiří. *Metodika konstruování v oboru: konstrukční cvičení*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 1994. 122 s. ISBN 80-7078-233-1.
- [ 4 ] LEINER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 2.vydání. Praha: Albra, 2006. 906s. ISBN 80-7078-204-5

### Elektronická:

- [ 5 ] KONEČNÝ, Zdeněk. *Základy technické dokumentace*. [online] Dostupné z [www:http://robot.vsb.cz/podklady-pro-vyuku](http://robot.vsb.cz/podklady-pro-vyuku)
- [ 6 ] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. [online] Dostupné z [www: http://robot.vsb.cz/podklady-pro-vyuku](http://robot.vsb.cz/podklady-pro-vyuku)
- [ 7 ] *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce*. [online] Dostupné z [www: http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace](http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace)
- [ 8 ] [hutní materiál]. Feron. [cit. 2011-2-21 ]. Dostupné z [www: http://www.ferona.cz](http://www.ferona.cz)
- [ 9 ] [kontejnerové nosiče]. SIMED. [cit. 2011-2-21 ]. Dostupné z [www: http://www.simed.cz](http://www.simed.cz)
- [ 10 ] [elektromotory]. Lin Engineerig. [cit. 2011-2-21 ]. Dostupné z [www: http://www.linengineering.com](http://www.linengineering.com)
- [ 11 ] [převodovky]. Harmonic Drive AG. [cit. 2011-2-21 ]. Dostupné z [www: http://www.harmonicdrive.de](http://www.harmonicdrive.de)
- [ 12 ] [normalizované díly]. SDP-SI. [cit. 2011-2-21 ]. Dostupné z [www: http://www.sdp-si.com](http://www.sdp-si.com)
- [ 13 ] [ozubené řemenice a řemeny] TYMA. [cit. 2011-2-21 ]. Dostupné z [www: http://www.tyma.cz](http://www.tyma.cz)
- [ 14 ] [ložiska]. SKF. [cit. 2011-2-21 ]. Dostupné z [www: http://www.loziska-gufera.cz](http://www.loziska-gufera.cz)

## 14 Seznam příloh

### Výkresová dokumentace:

- [ 1 ] Sestavný výkres manipulační nástavby BP - MAC814 - 01

### Výpočtová dokumentace:

- [ 2 ] Výpočet délky řemenů
- [ 3 ] Kontrola perových spojů

### Katalogy:

- [ 4 ] Technický list krokového motoru Lin Engineering 208
- [ 5 ] Technický list krokového motoru Lin Engineering 211
- [ 6 ] Technický list krokového motoru Lin Engineering 4118
- [ 7 ] Technický list krokového motoru Lin Engineering 5818
- [ 8 ] Technický list planetové převodovky Lin Engineering Nema 17
- [ 9 ] Technický list harmonické převodovky Harmonic Drive CPL
- [ 10 ] Technický list řemenic TYMA
- [ 11 ] Technický list řemenů TYMA

### V elektronické podobě:

- [ 12 ] Pevnostní kontrola prvního ramene
- [ 13 ] Pevnostní kontrola koncového ramene
- [ 14 ] Pevnostní kontrola záchyťových element
- [ 15 ] Katalog Lin Engineering
- [ 16 ] Katalog Harmonic Drive AG
- [ 17 ] Katalog řemenic TYMA
- [ 18 ] Katalog řemenů TYMA
- [ 19 ] 3D – model nástavby pro manipulaci s retranslačními stanicemi
- [ 20 ] Sestavný výkres manipulační nástavby

## 15 Kompletní 3D model

